MEMOIRE

Antalgie de la main par ondes de choc à distance

Analgesia of the hand by remote shockwave therapy

Frédéric APAIX

Masseur Kinésithérapeute

Membre titulaire du GEMMSOR

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme Inter Universitaire Européen de Rééducation et Appareillage en Chirurgie de la main. Grenoble 2011/2013 - Sous la direction du Pr François MOUTET

PLAN

Avant- propos……p.6

Résumé……p.8
Summary……p.10

Introduction……p.12

Partie 1: Antalgie par ondes de choc : une approche originale

I – Les indications traditionnelles des ondes de choc

A- La technique des ondes de choc……p.18

B – Les effets physiologiques des ondes de choc……p.20

II – Antalgie de la main par stimulation à distance

A – Recherche d'un outil statistique adapté……p.25

B – Protocole expérimental……p.35

Partie 2 : Effet antalgique des ondes de choc à distance : hypothèses.

I – Contrôle périphérique du message douloureux

A – Rappel physiologique : la transmission de la douleur……p.41

B – Le contrôle biochimique : la soupe inflammatoire……p.42.

C – La théorie du Gate Control……p.45

II – Contrôle central du message douloureux

A – Rappel physiologique : l'intégration de la douleur……p.47

B – L'hypothèse CIDN : une contre stimulation énergique……p.50

C – La neuroplasticité de la douleur……p.52

D – L'effet Hawthorne……p.57

Bibliographie……p.60

TABLE OF CONTENTS

Foreword.....p.6

Summary.....p.10

Introduction.....p.12

Part I: Analgesia by shockwave therapy: a novel approach

I – Traditional indications of shockwave therapy

A – Technical shockwaves.....p.18

B – The physiological effects of shock waves.....p.20

II – Analgesia of the hand by remote stimulation

A – Fiding a suitable statistical tool.....p. 25

B – Experimental protocol.....p.35

Part II: Analgesic shockwave remote effects: Assumptions

I – Peripherical control of pain message

A – Physiological reminder: the transmission of pain.....p.41

B – Biochemical control: the inflammatory soup.....p. 42

C – The Gate Control theory.....p.45

II – Central control of the pain message

A – Physiological reminder: integration of pain.....p. 47

B – The DNIC hypothesis: : an energical contra-stimulation.....p. 50

C – Neuroplasticity of pain.....p.52

D – The Hawthorne Effect.....p.57

Bibliography.....p.60

AVANT PROPOS

Je tiens à remercier Léopold C. qui m'a permis de faire mes premiers pas dans l'univers des bio-statistiques et sans l'aide duquel ce mémoire de recherche n'aurait pas abouti.

Je remercie aussi chaleureusement toutes les personnes de bonne volonté qui permettent l'organisation de ce Diplôme Inter Universitaire de Rééducation et Appareillage en Chirurgie de la main, qu'il s'agisse des intervenants aux cours, des membres du jury, ou des maîtres de stages qui nous ont réservé un bon accueil et consacré du temps malgré les contraintes de leur activité professionnelle.

Cette formation constitue, avec le GEMMSOR, la forme la plus aboutie d'excellence et de spécialisation en kinésithérapie. Elle n'a pas d'égal parmi les autres disciplines que compte cette profession. C'est donc avec respect et fierté que j'ai eu le plaisir d'apprendre au contact de mes aînés.

Le DIU m'a conforté dans ma spécialisation progressive en kinésithérapie de la main et encouragé à m'inscrire à la formation d'orthésiste session 2013. Ces deux compétences jumelles m'ont d'ores et déjà permis d'améliorer les résultats de mes traitements et donc le service rendu aux patients.

A tous merci.

RESUME

La validation scientifique est le parent pauvre de la masso-kinésithérapie. De nombreuses techniques utilisées en pratique quotidienne sont le fruit de l'expérience, mais rares sont celles qui furent dûment testées et ayant scientifiquement prouvé leur efficacité.

Malgré une évolution positive en matière d'évaluation et de formation professionnelle, la rareté des structures de recherche nous conduit à tenter d'évaluer, dans le cadre de notre cabinet libéral, la validité d'une de nos pratiques plutôt originale : l'utilisation à distance d'ondes de choc à visée antalgique.

Cette recherche sort du cadre des indications traditionnellement dévolues aux ondes de choc.

Elle suppose de recourir à un outil statistique valide et facilement accessible malgré la petite taille de notre cabinet. Nous proposons une méthode qui pourra être reprise par tous les praticiens pour leurs propres recherches, à condition de constituer un groupe témoin et de se limiter à la variation d'un seul paramètre.

Notre protocole d'étude permet de mettre en évidence l'efficacité de l'application d'ondes de choc à distance de la main douloureuse, le traitement étant appliqué au niveau du coude.

Nous recherchons à formuler des hypothèses relatives à l'origine physiologique de cet effet positif à travers les connaissances de la physiologie de la transmission du message douloureux, tant au niveau périphérique qu'au niveau central.

SUMMARY

Scientific validation is the poor relation of physiotherapy. Many technics used in clinical practice are the result of experience, but few are those who were duly tested and scientifically proven to be effective.

Despite positive trends in evaluation and training, scarcity of research organizations led us to try to assess, in the context of our private practice, the validity of our rather unique approach: using remote shockwave analgesia.

This research is beyond the scope of indications traditionally assigned to shockwave therapy.

It implies using a valid statistical tool and easily accessible despite the small size of our firm. We propose a method that can be adopted by all practitioners for their own research, provided to establish a control group and limited to the variation of a single parameter.

Our study protocol allows us to highlight the efficacy of the application of extracorporeal shockwave therapy away from the painful hand, the treatment being applied to the elbow.

We are looking to make assumptions about the physiological basis of this positive effet through knowledge of the physiology of the transmission of the pain message because both peripheral and central level.

INTRODUCTION

"La charge de la preuve revient toujours à celui qui affirme quelque chose de nouveau et plus la chose affirmée sort du cadre des lois établies, a fortiori si elle entre en conflit avec ces lois, plus les preuves apportées pour étayer cette proposition doivent être robustes."

Georges Charpak[1].

1- Le choix du sujet du mémoire.

C'est en réfléchissant au sujet de notre mémoire que cette phrase de Georges CHARPAK[2] est venue nous provoquer, nous inciter à entamer un travail destiné à valider une technique que nous utilisons en pratique quotidienne de kinésithérapie en cabinet libéral. La rédaction du mémoire ne constitue pas la partie la plus facile du Diplôme Inter Universitaire en Rééducation et Appareillage en Chirurgie de la main, mais constitue un moment particulier dans la vie d'un professionnel, fait d'interrogations et de réflexions, une forme d'introspection favorable à une analyse critique de notre pratique.

Il s'agit de l'utilisation d'un appareil délivrant des ondes de choc, mais détourné de son indication initiale, dans le but de soulager des patients souffrant de douleurs à la main. Il était bien entendu impensable de recourir à une technique aussi agressive sur une main récemment opérée. C'est pourquoi l'application de ces ondes de choc se fait à distance de la main douloureuse, au niveau du coude, dans la masse musculaire des épicondyliens. Comme nous le démontrerons, cette approche thérapeutique est très efficace. Il faudra, pour répondre à l'injonction de G. Charpak, apporter les preuves les plus robustes, car rien n'est plus dur à modifier que les habitudes, portées par une sorte d'inertie propre que Jean Léon Beauvois et Robert Vincent Joule ont désignée sous l'appellation d' « effet de gel »[3].

L'idée de cette manière d'utiliser les ondes de choc est due au hasard. En effet, bien que nous appliquions avec succès le protocole Degez-Pernot[4], fondé sur le massage transversal profond et le renforcement musculaire excentrique, dans le traitement des épicondylalgies,

[1] CHARPAK G., BROCH H. *Devenez sorciers, devenez savants*. p. 204. Ed. Odile Jacob 2002.
[2] Op.cit.
[3] BEAUVOIS J.L., JOULE R. V. *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens*. Presses Universitaires de Grenoble 2002 p. 29.
[4] DEGEZ F., PERNOT P. : *Protocole de rééducation de l'épicondylalgie tendineuse*. Kinésithérapie La Revue. 2011 (113) p. 21-30. EMC Kinésithérapie Médecine physique Réadaptation. 2010. 26 213 B 15.

nous avons été amenés à recevoir une patiente souffrant de cette pathologie, et pour laquelle le médecin prescripteur avait demandé explicitement l'utilisation d'ondes de choc. Le hasard a voulu que cette patiente souffre également de douleurs causées par une arthrose trapézo-métacarpienne. Nous avons constaté avec surprise qu'elle décrivait, immédiatement à l'issue de l'application des ondes de choc au niveau du coude, une sédation totale de sa douleur de la main.

Ce résultat antalgique positif s'est répété à de nombreuses reprises, à tel point que le choix du sujet de ce mémoire de recherche s'est imposé de lui-même. Nous tenions là l'occasion d'explorer plus avant cette technique originale et si possible d'en prouver l'efficacité.

Cette occasion d'effectuer une recherche et une évaluation est d'autant plus opportune que la profession de masseur-kinésithérapeute connaît une évolution sans précédent en termes d'évaluation des pratiques professionnelles et de formation continue (2).

2 - EPP et DPC : les deux piliers de l'évolution de la profession de masseur-kinésithérapeute.

L'évaluation des techniques de masso-kinésithérapie va prendre son essor. En effet, le droit positif tend à imposer une évaluation à plusieurs niveaux. Il s'agit tout d'abord de l'EPP, ou Evaluation des Pratiques Professionnelles, qui sera bientôt mise en œuvre par le Conseil de l'Ordre en vertu de l'article L 4321-17 du code de la santé publique sous une forme individuelle et anonyme. Il s'agit également du DPC, ou « Développement Professionnel Continu », institué par l'article L4382-1 du code de la santé publique qui impose une formation collective annuelle, obligation commune à l'ensemble des professionnels de santé, et dont le non-respect est susceptible de constituer un motif d'insuffisance professionnelle.

A – L'évaluation des Pratiques Professionnelles.

Procédure individuelle, l'EPP[5] ne vise pas l'ensemble des pratiques du Masseur Kinésithérapeute. En effet, le Conseil Nationale de l'Ordre des Masseurs Kinésithérapeutes considère que le champ de l'EPP est identique à celui défini à l'article L4321-14 du Code de la santé publique[6] : principalement principes de moralité et de probité, compétences pour

[5] GATTO F. : *Fondements théoriques de l'EPP*. CNOMK 4 juillet 2012.
[6] Article L4321-14 Code de la santé publique:
L'ordre des masseurs-kinésithérapeutes veille au maintien des principes de moralité, de probité et de compétence indispensables à l'exercice de la masso-kinésithérapie et à l'observation, par tous ses

exercer la profession et toutes les règles posées par le Code de la santé publique[7]. Cette conception écarte l'évaluation critique individuelle des techniques employées au quotidien par les praticiens.

Une expérimentation a pourtant été tentée entre le 1er mai et le 30 juin 2009 par le Conseil de l'Ordre autour des thèmes suivants : la personne âgée non grabataire, l'AVC, la bronchiolite, l'hygiène et la sécurité, la lombalgie chronique, les fondamentaux à utiliser et à maîtriser sur l'EPP. Cette enquête en ligne par internet portant sur 1678 praticiens de 22 régions a donné des résultats satisfaisants puisque 78,8 % des réponses correspondaient aux bonnes pratiques et données de la science en masso-kinésithérapie[8].

B – Le Développement Professionnel Continu.

Le DPC pourrait s'approcher d'avantage d'une évaluation des pratiques professionnelles. Cependant, les orientations nationales des formations sont proposées par le ministère chargé de la santé, tandis que les orientations régionales relèvent de la compétence des ARS. Le Conseil National de l'Ordre émet un avis relatif à ces orientations. Une fois le programme de DPC arrêté, le Conseil National en assure la promotion[9]. Son caractère est collectif.

Ces deux mécanismes sont également louables, ils ne sont pour autant pas suffisants car ils ne favorisent en rien l'éclosion de nouvelles techniques ou encore la recherche et les publications qui sont pourtant à la base de l'appréciation de l'efficacité dans le domaine médical. Cette lacune peut se comprendre en partie en raison de la quasi-absence de structures de recherche en masso-kinésithérapie, au contraire de ce qui se rencontre dans d'autres pays. Cette déficience de la recherche peut elle-même être imputée à la limitation

---

membres, des droits, devoirs et obligations professionnels, ainsi que des règles édictées par le code de déontologie prévu à l'article L. 4321-21.
Il assure la défense de l'honneur et de l'indépendance de la profession de masseur-kinésithérapeute.
Il peut organiser toute œuvre d'entraide au bénéfice de ses membres et de leurs ayants droit.
Il peut être consulté par le ministre chargé de la santé, notamment sur les questions relatives à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute.
Il accomplit sa mission par l'intermédiaire des conseils départementaux ou interdépartementaux, des conseils régionaux et du conseil national de l'ordre.

[7] Communication du Conseil National de l'Ordre des MK. Juillet 2012.

[8] PASTOR E., GATTO F. : Livret EPP. CNOMK 2011.

[9] Article R4382-6 Code de la santé publique :
Les établissements employeurs, les conseils des ordres compétents ainsi que les unions régionales des professionnels de santé représentant les auxiliaires médicaux libéraux assurent la promotion de programmes de développement professionnel continu qui peuvent être suivis par des auxiliaires médicaux libéraux, des auxiliaires médicaux hospitaliers, des auxiliaires médicaux salariés, des aides-soignants et des auxiliaires de puériculture. Ces programmes peuvent associer d'autres professionnels.
Dans les établissements publics de santé, le comité technique d'établissement et la commission des soins infirmiers, de rééducation et médico-techniques sont consultés sur le plan de développement professionnel continu, en application des articles R. 6144-40 et R. 6146-10.

du cursus universitaire accordé à cette profession. Nous pensons qu'une intégration des formations post-Diplôme d'Etat au format universitaire LMD est la seule voie pérenne pour voir se développer des écoles doctorales, avec des laboratoires de recherche et des travaux de thèses susceptibles d'augmenter, et souvent créer ex nihilo, l'argumentaire scientifique autour des techniques de masso-kinésithérapie.

La profession a brutalement pris conscience de cette lacune à l'occasion de l'établissement du référentiel concernant la prise en charge des patients opérés d'une libération du nerf médian au canal carpien (C).

C – Le réferentiel Canal carpien :

La HAS, Haute Autorité de Santé, préconise actuellement une absence pure et simple de prescription de séances de masso-kinésithérapie après chirurgie de libération du nerf médian au canal carpien. Cette position a surpris les kinésithérapeutes par sa soudaineté et son manque de nuance. Il faut pourtant en tirer les leçons, en commençant par comprendre le mécanisme de la genèse d'une telle recommandation.

Ce référentiel, proposé par l'UNCAM et qui sert de base au remboursement- ici au non-remboursement de ces soins- par la sécurité sociale, s'est basé sur l'état de la littérature. La stratégie documentaire de l'HAS n'a retenu que quatre publications, dont aucune ne retient l'utilité de la kinésithérapie. « La place de la rééducation postopératoire du syndrome du canal carpien n'est pas définie faute d'études scientifiques»[10]. A défaut, tout soin de kinésithérapie est subordonné à un accord préalable de l'assurance maladie[11].

Le message est clair. On ne reproche pas à la profession son manque de compétence ou une absence de possibilité de prendre en charge les patients concernés par la libération du nerf médian au canal carpien ; on constate abruptement la carence de publications permettant d'en affirmer l'utilité médicale. La production d'arguments scientifiquement construits est indispensable à la marche de la profession de Masseurs Kinésithérapeute vers une plus grande émancipation. Elle doit devenir la règle pour soutenir la validité, l'originalité et l'honneur de cette profession. De façon plus prosaïque, on peut prédire un durcissement des conditions de prise en charge des soins par la collectivité sous la pression de conditions socio-économiques moins favorables. Il suffit d'ailleurs de porter le regard vers les pays étrangers pour constater que la justification et l'argumentation en faveur des soins en

[10] HAS, réponse à saisine du 26 février 2009 en application de l'article L. 162-1-7 du Code de la sécurité sociale. Disponible sur www.has-sante.fr

[11] Voir les décisions UNCAM du 16 mars 2010 (JO du 28 mai 2010), du 2 novembre 2011 (JO du 20 janvier 2012) et du 9 février 2012 (JO du 13 avril 2012) relatives à la liste des actes et prestations pris en charge par l'assurance maladie

général, et ceux de masso-kinésithérapie en particulier, va devenir une obligation incontournable.

Ce mémoire s'inscrit dans cette réflexion et se veut une modeste tentative de validation d'une pratique personnelle et peu répandue en kinésithérapie de la main : l'utilisation à distance des ondes de choc à visée antalgique.

Nous verrons dans une première partie (Partie 1) la mise en œuvre de l'étude de cette technique originale, puis nous tenterons dans une seconde partie (Partie 2) de proposer des hypothèses tendant à expliquer l'efficacité de cette approche thérapeutique.

Première partie :

Antalgie par ondes de choc : une approche originale.

L'utilisation des ondes de choc en rééducation est un outil thérapeutique récent. Cette technique est destinée aux lésions musculo-tendineuses présentant un retard de cicatrisation (I). En revanche, si le recours à cette technique à visée antalgique est parfois envisagé, c'est toujours par une application *in situ* et jamais en recherchant un effet à distance ; c'est cette possibilité que nous nous proposons d'évaluer (II).

I – Les indications traditionnelles des ondes de choc.

La technologie des ondes de choc a vu le jour à la fin du siècle dernier. Elle couvre deux champs d'indications bien distincts, la lithotripie en urologie - que nous n'aborderons pas - et les pathologies musculo-tendineuses.

A- La technique des ondes de chocs.

L'ESWT, Extracorporeal Shock Wave Therapy, a été développée en urologie dès les années 1980. Dans les années 1990, un lithotripteur endoscopique a vu le jour tandis que naissait l'idée de détruire par ondes de choc les calcifications tendineuses[12].

Les appareils d'ESWT sont coûteux et généralement couplés à un système d'imagerie. Une autre génération d'appareils, dérivée des lithotripteurs endoscopiques, a été créée: les ondes de choc radiales, RSWT pour Radial Shock Wave Therapy. Les ondes de choc radiales de moindre puissance ont une profondeur de pénétration de 3,5 cm contre 11 cm pour l'ESWT.

Les deux techniques ont pour certains auteurs une efficacité comparable[13] ; pour d'autres les ondes de choc focales pourraient montrer une plus grande efficacité[14]. L'effet ressenti par le

[12] BARTH J., JAEGER J. H., LUTZ C. *Les ondes de choc*. Kinésithérapie Scientifique n° 445 juin 2004 p. 19.
[13] DIESCH R. et coll. : *Conventional versus BallisticExtracorporeal Shock Waves for the treatment of Calcaneal Spur*, 2ndInternational Congress of the,Londre, 1999.
[14] LOHRER H, NAUCK T, DORN-LANGE NV, SCHOLL J, VESTER JC. *Comparison of radial versus focused extracorporeal shock waves in plantar fasciitis using functional measures*. Foot Ankle Int. 2010 Jan;31(1):1-9.

patient est beaucoup plus intense lors de l'application d'ondes de choc radiales que lors de l'utilisation d'ondes de choc focales. Les ondes de choc radiales permettraient une diminution de la spasticité[15].

Diverses études tentent de cerner le mode et le champ d'activité des ondes de choc. On peut citer par exemple les travaux de Tornese et al. concernant le choix entre une application application tangentielle ou perpendiculaire des ondes de choc : cela n'en modifie pas l'efficacité[16]. Autre exemple relatif aux indications de ce traitement, les travaux de Rompe et al. concluant à la supériorité des ondes de choc par rapport au placebo dans le traitement de l'épicondylalgie du pratiquant de tennis[17].

Concrètement, cet appareil est composé d'un générateur auquel est reliée une tête émettrice. La tête est composée d'une masselote mise en mouvement par un flux d'air comprimé au niveau du générateur. Il existe des options de réglage jouant à la fois sur la fréquence des coups, leur intensité et leur nombre.

Un exemple de générateur d'ondes de choc

[15] VIDAL X, MORRAL A, COSTA L, TUR M. *Radial extracorporeal shock wave therapy (rESWT) in the treatment of spasticity in cerebral palsy: a randomized, placebo-controlled clinical trial*. NeuroRehabilitation. 2011;29(4):413-9.
[16] TORNESE D, MATTEI E, LUCCHESI G, BANDI M, RICCI G, MELEGATI G. *Comparison of two extracorporeal shock wave therapy techniques for the treatment of painful subcalcaneal spur. A randomized controlled study*. Clin Rehabil. 2008 Sep;22(9):780-7. doi: 10.1177/0269215508092819.
[17] ROMPE JD, DECKING J, SCHOELLNER C, THEIS C. *Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players*. The American Journal of Sports Medicine 2004 Apr-May;32(3):734-743

B - Les effets physiologiques des ondes de choc[18] :

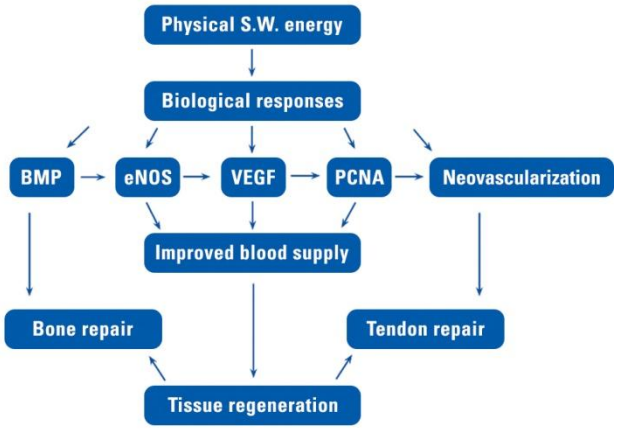
Les effets physiologiques attribués aux ondes de choc sont multiples : accélération de la réparation tissulaire, analgésie et récupération de la mobilité par effet mécanique.

1/ Réparation cellulaire accélérée des tissus.

Cette remise en route des processus de cicatrisation permet de répondre au retard voire à l'arrêt des phénomènes naturels de réparation tissulaire. Elle se compose de la création d'une néovascularisation, de l'inversion de l'inflammation chronique et de la stimulation de la production de collagène. On vise ici les retards de cicatrisation qui rendent chroniques les tendinopathies[19].

a/ Néovascularisation

Le flux sanguin d'aliments est nécessaire pour démarrer et maintenir les procédés de réparation de la structure du tissu endommagé. L'application d'ondes acoustiques crée des microruptures capillaires dans le tendon et l'os et augmente significativement l'expression des indicateurs de croissance tels que eNOS, VEGF, PCNA et BMP. Ces deux procédés stimulent la croissance et le remodelage de nouvelles artérioles. Les nouveaux vaisseaux sanguins amélioreront l'apport sanguin et l'oxygénation résultant avec la guérison plus rapide du tendon et de l'os.



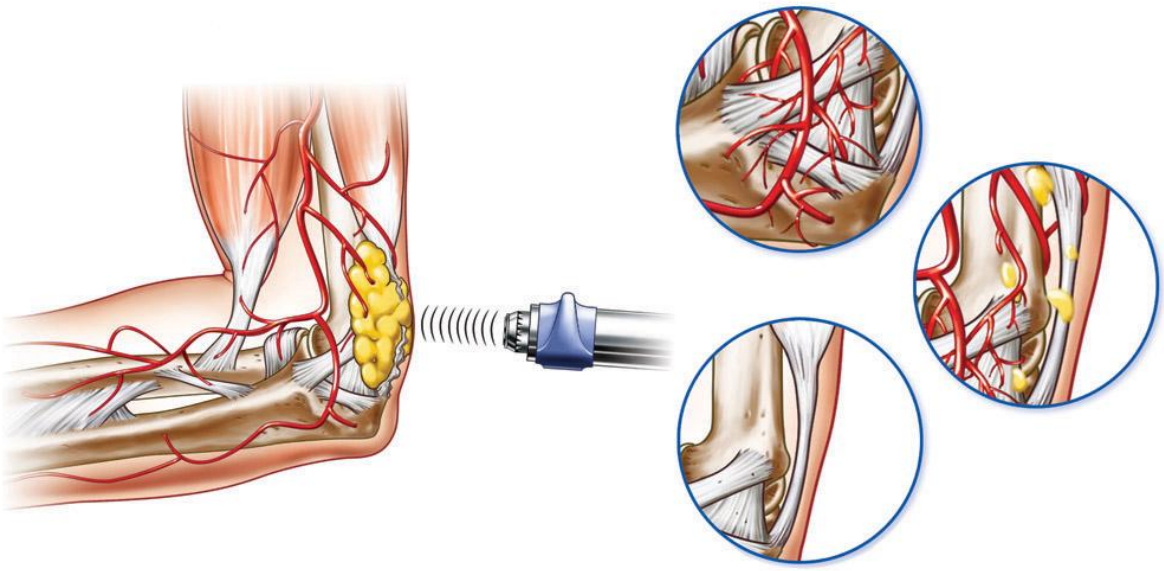
[18] Voir l'argumentaire commercial du site www.ondesdechoc.eu
[19] SEIL R , WILMES P., NUHRENBORGER C .*Thérapie extracorporelle par ondes de choc pour les tendinopathies*. Expert Rev Med Devices. Jul 2006, 3 (4) :463-70.

b/ Inversion de l'inflammation chronique.

L'inflammation chronique se produit lorsque la réaction de l'inflammation n'est pas complètement arrêtée. Elle peut endommager des parties saines dans le corps et elle peut déboucher sur des douleurs chroniques. L'activité des mastocytes, impliquées dans le procédé inflammatoire, peut être accrue par des ondes acoustiques insinuantes. L'activation des mastocytes peut être suivie par la synthèse de chémokines et de cytokines. Le déblocage de mélanges pro-inflammatoires, si nécessaire, peut contribuer à rétablir la guérison normale et les procédés régénérateurs.

c/ Stimulation de la production de collagène.

La production de quantités suffisantes en collagène est une précondition nécessaire pour le procédé de réparation du tissu. La thérapie par ondes de choc accélère la synthèse procollagène. Les fibres de collagène nouvellement créées sont imposées dans une structure longitudinale. Ces fibres de tendon nouvellement formées sont plus denses et dures.



2/ Analgésie et restauration de la mobilité.

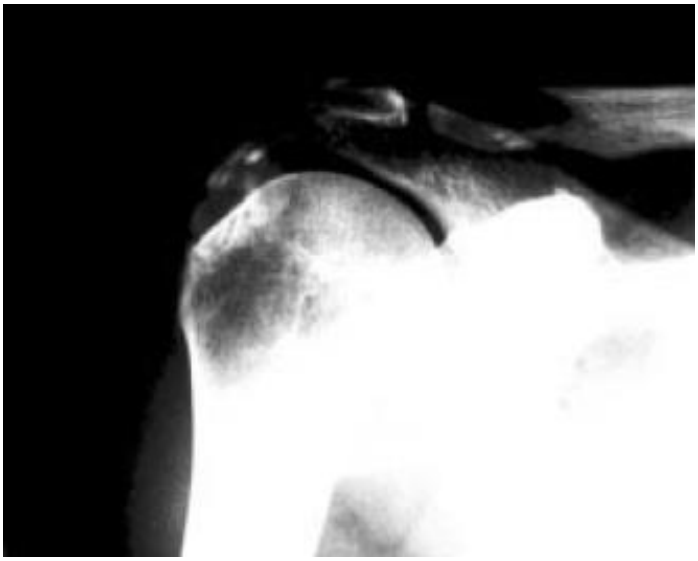
Les ondes de chocs s'inscrivent dans la philosophie étymologique de la kinésithérapie en apportant non seulement un effet antalgique mais aussi une restauration de la mobilité.

a/ Dispersion du médiateur de douleur : Substance « P »

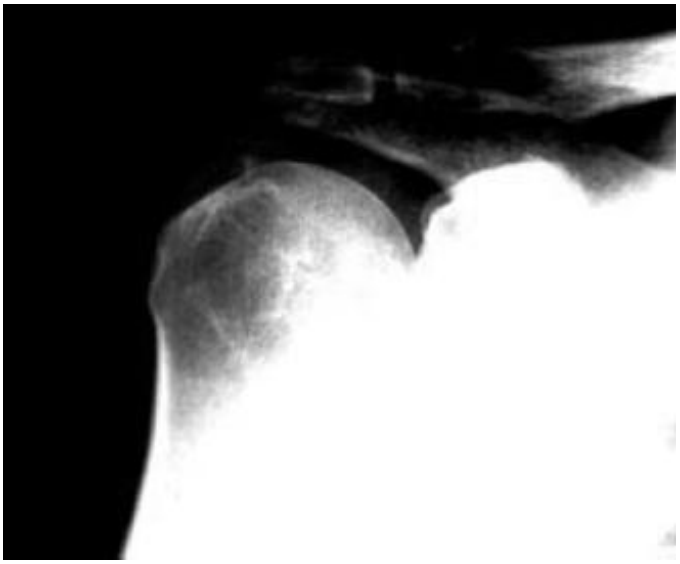
La substance P est un neurotransmetteur qui sert de médiateur pour l'information de douleur via les fibres C. Ce neuropeptide est généralement associé à une douleur chronique, persistante et intense. Elle est utilisée pour relayer les messages de douleurs vers le système nerveux central. La diminution de la concentration de substance P réduit la stimulation de fibres nociceptives afférentes et, ainsi, réduit la douleur. La diminution de la substance P, les histamines et d'autres métabolites nociceptifs contribuent aussi à inhiber le développement d'un œdème inflammatoire.

b/ Dissolution des fibroblastes calcifiés.

Le dépôt de calcium est le plus souvent le résultat de micro-déchirures ou d'un autre traumatisme du tendon. Les ondes acoustiques brisent les calcifications existantes. La thérapie par ondes acoustiques amorce la décalcification biochimique du dépôt de calcium de consistance semblable à du dentifrice et traite le tendon. Les particules granulaires de calcium sont enlevées par le système lymphatique.



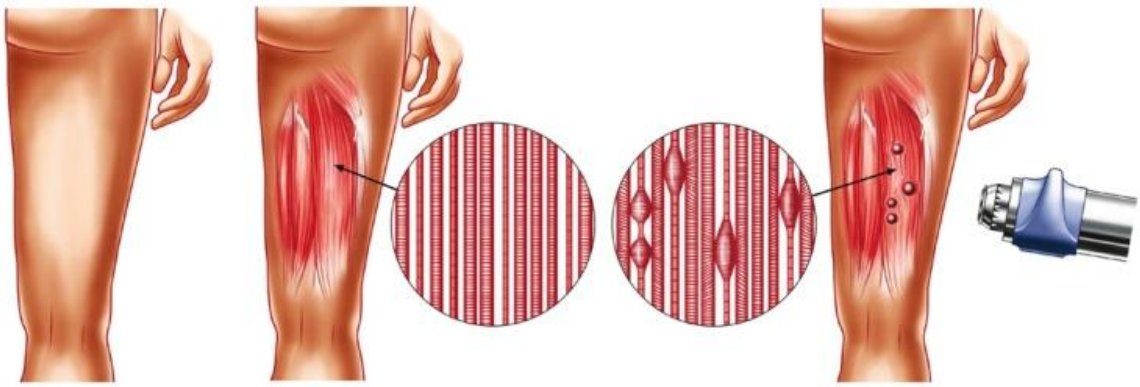
Avant traitement



Après trois séances d'ondes de choc

c/ Soulagement des points gâchettes.

Les points gâchettes sont la principale cause de douleur dans le dos, la nuque, les épaules et les extrémités. Ils sont associés à des nodules palpables en groupes tendus de fibres musculaires et leurs sarcomères sont extrêmement contractés. Les sarcomères dysfonctionnels se contractent si fort qu'ils commencent à couper leur propre apport sanguin. Cela cause un dépôt de produits déchet qui en retour irrite la terminaison nerveuse sensorielle, causant ensuite encore plus de contractions. Ce cercle vicieux est mentionné comme une "crise métabolique". Bien que les effets médicaux précis de l'onde acoustique ne soient pas établis, il peut être supposé que l'énergie acoustique fournie débloque la "pompe à calcium" et renverserait la crise métabolique.



Abordons à présent l'utilisation des ondes de choc dans un but antalgique par une application à distance du site douloureux de la main (II).

II – Antalgie de la main par stimulation à distance.

L'évolution de la profession de Masseur Kinésithérapeute vers plus de maturité et d'autonomie passe par la capacité faire la démonstration de l'efficacité de ses techniques. En l'absence de structure universitaire de recherche, cette mission devrait incomber à la collectivité des praticiens ; cependant l'organisation de l'offre de soins en masso-kinésithérapie est très morcelée en France. Ainsi, au 31 décembre 2012, le Conseil National de l'Ordre des Masseurs Kinésithérapeutes recensait-il 75 900 professionnels, parmi lesquels 70 600 sont inscrits à l'ordre ; ils se répartissent en 60 000 libéraux et 10 600 salariés.

La dispersion des professionnels dans de nombreux cabinets libéraux rend difficile la démonstration statistique de l'efficacité d'un traitement. A l'humble échelle de notre cabinet, nous avons été confrontés à la difficulté d'accès à un outil statistique. En effet, malgré les bons offices de notre directeur de mémoire, les services compétents pour calculer de telles statistiques sont indisponibles, débordés par un trop grand nombre de demandes.

C'est la raison pour laquelle, nous avons été obligés de rechercher un outil statistique simple, accessible à tout professionnel, et sans disposer de connaissances approfondies en la matière (A). Une fois effectué ce long travail de recherche et de mise en place de l'outil statistique, nous avons enfin pu procéder à l'évaluation de l'efficacité du recours aux ondes de choc à titre antalgique (B).

A- Recherche d'un outil statistique adapté

Le recours à des données chiffrées prend une part croissante en médecine[20]. Ainsi que nous l'avons évoqué plus haut, la kinésithérapie doit suivre cet exemple pour assoir sa crédibilité scientifique. Il faut pour cela que les chiffres utilisés ne soient pas le fruit du hasard ou le résultat d'un biais. Les biostatistiques permettent de déterminer si le résultat d'une étude ou d'un essai clinique est dû au hasard ou, pour reprendre l'expression consacrée en la matière, est le fait du hasard. La méthodologie utilisée doit permettre d'aboutir à cette conclusion en minimisant les risques d'erreur d'interprétation.

Une fois cette différence significative obtenue, encore faut-il qu'elle soit la conséquence réelle de la différence de traitement. Avant toute analyse mathématique des données, il convient de vérifier qu'elles ne soient pas fausses ou incomplètes. L'analyse de données ne surviendra que dans un second temps.

[20] SCHWARTZ D. *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*., Ed. Flammarion 1963
LAPLANCHE A., COM NOUGUE C., FLAMANT R.. *Méthodes statistiques appliquées à la recherche clinique*., Ed. Flammarion 1986

Nous avons questionné des biostatisticiens afin de tenter de comprendre la logique de leurs raisonnements. Nous les avons littéralement harcelés dans le but d'obtenir un moyen de réaliser la présente étude. Il s'agissait également dans notre esprit d'acquérir éventuellement une méthode qui permettrait à l'avenir de se passer d'aide pour un autre travail.

La solution fut apportée par Léopold C., ancien patient que nous avions suivi dans les suites des interventions de chirurgie correctrice de sa main botte radiale avec polydactylie, et aujourd'hui compétent en bio-statistiques. Qu'il soit ici encore une fois remercié, c'est grâce à son aide précieuse que ce mémoire a pu aboutir.

C'est ainsi que nous sommes en mesure de proposer un test statistique simple : il s'agit de déterminer si une différence remarquée entre deux groupes de patients est le fait du hasard ou non grâce à un test de Wilcoxon. Les patients sont ventilés en deux groupes, l'un recevant le traitement à évaluer, l'autre non. Ce type d'étude est limité à l'analyse d'un seul paramètre.

Apporter la preuve que l'application d'ondes de chocs à visée antalgique produit un effet significatif se heurte à ces deux écueils : premièrement la constitution d'un échantillon valable (1), d'autre part la collecte de données valides (2) et enfin l'exploitation de des données significatives (3).

1/ Choix d'un échantillon représentatif par tirage au sort.

Pour permettre une étude à l'échelle modeste d'un cabinet libéral, encore faut-il qu'il soit possible de composer un échantillon de population statistiquement pertinent. La difficulté rencontrée par le praticien de base pour évaluer son travail réside dans la modestie relative de sa patientèle : il est difficile de trouver un nombre suffisant de patients, tant pour le groupe test que pour le groupe témoin. De plus, se pose le problème de la représentativité de cet échantillon par rapport à la population.

Il est possible de supposer que l'on respecte ces conditions sous réserve de suivre certains principes incontournables.

a - Une ventilation aléatoire entre un groupe test et un groupe témoin.

La constitution du groupe de patient bénéficiant du traitement par ondes de choc et celle du groupe n'en bénéficiant pas doit s'effectuer de façon totalement aléatoire. L'origine des

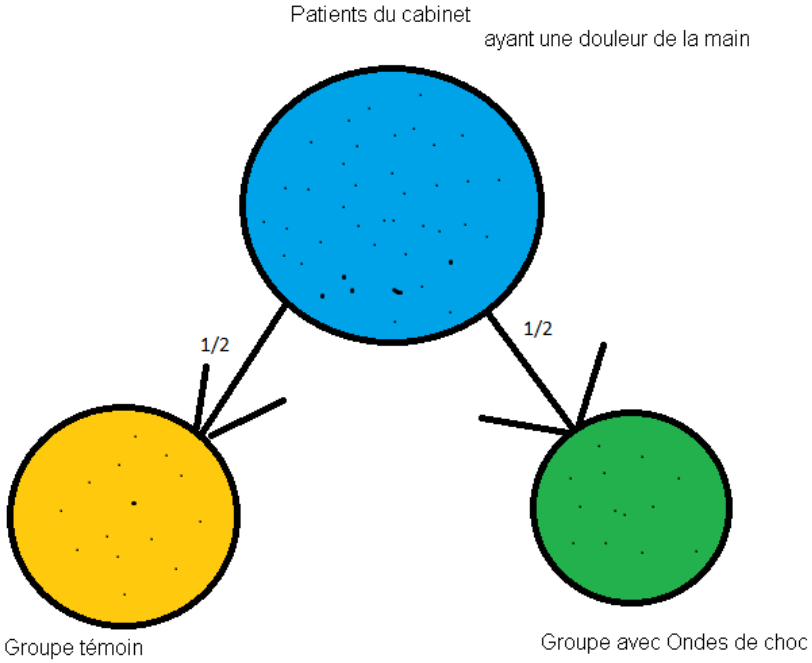
patients reste bien entendu limitée aux patients fréquentant notre cabinet ; en revanche le fait qu'un patient soit affecté à l'un ou l'autre des groupes sera aléatoire.

b- Lancer de pièce ou lancer de dé.

On peut ainsi avoir recours à un lancer de dé, les chiffres un à trois désignant un groupe, les chiffres quatre à six désignant l'autre. On peut utiliser une fonction de tirage aléatoire informatique.

Il est également possible de procéder à un lancer de pièce de monnaie qui ventile les patients à pile ou face dans les deux groupes[21]. C'est la solution que nous avons retenu pour sa simplicité, de mise en œuvre, mais aussi d'explication aux patients.

On obtient ainsi progressivement la constitution de deux groupes de patients issus de l'ensemble de la patientèle fréquentant notre cabinet. L'un de ces groupes recevra le traitement dont on veut évaluer l'efficacité, l'autre groupe ne le recevant pas servira de groupe témoin.



On obtient alors deux groupes d'étude, tirés au hasard, bien qu'au sein d'un choix restreint de données. Ainsi que nous l'envisagerons plus loin, l'évaluation de la douleur s'effectuera avec une échelle numérique analogique de 0 à 10, dix correspondant à la douleur maximale et zéro à l'absence de douleur.

[21] A propos de Lancer de pièce et probabilités voir: CHARPAK G., BROCH H. op. cit. p. 215.

2- Validation des données par utilisation de la Loi Normale.

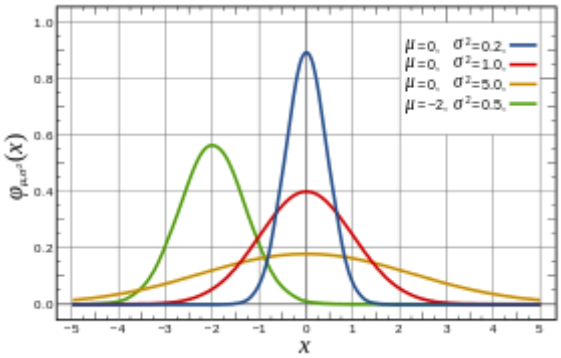
Après avoir pu constituer deux groupes de patients satisfaisants aux exigences des bio-statistiques au sein de notre patientèle, encore faut-il vérifier que cet échantillon est représentatif. Il est malheureusement très difficile d'opter pour des critères d'exclusion très stricts lors de la préparation d'une étude telle que la nôtre. En effet, nous ne disposons pas d'un panel suffisant de patients pour pouvoir n'en garder qu'une partie, par exemple ne souffrant que d'une seule et même pathologie. La question posée ici est celle de la validité de notre échantillon au regard des bio-statistique. Cet écueil est contourné en ayant recours à la théorie de la loi normale.

a – La théorie de la Loi Normale

Afin de permettre une étude démontrant qu'un traitement est efficace tout en étant basée sur un échantillon restreint, il faut avoir recours aux principes de la Loi Normale[22] et aux conditions de la Normalité d'un échantillon. Elle est décrite par cette fonction :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \mathrm{e}^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}.$$

La courbe de cette densité est appelée courbe de Gauss, appellation relativement connue du grand public[23].



Lorsqu'une variable aléatoire notée X suit la loi normale, elle est dite *gaussienne* ou *normale*.

$$X \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma^2).$$

[22] RIDLEY M., *Evolution*, Blakwell, 2004, 3e éd., p.751. La loi normale est adaptée à l'analyse d'un caractère mesurable et observable dans une population d'individus comparables. C'est ainsi que les courbes de croissance utilisées par l'OMS, et présentes notamment dans les carnets de santé, sont issues de modélisations obtenues grâce à la loi normale. Voir également : Wikipedia, *Loi Normale*.
[23] FUCHS A., *Plaidoyer pour la loi normale*, Pour la Science, 1995, p. 17. MARSAGLIA G. *Evaluating the Normal Distribution*, *Journal of Statistical Software*, vol. 11, no 4, 2004, p. 1-11

Parmi les lois de probabilité, la loi normale prend une place particulière grâce au théorème central limite. En effet, elle correspond au comportement de toute suite d'expériences aléatoires lorsque le nombre d'expériences est très élevé ; il s'agit de l'expérience de Bernoulli. Grâce à cette propriété, la loi normale permet d'approcher d'autres lois et ainsi de réaliser de nombreuses études scientifiques, comme des mesures d'erreurs ou des tests statistiques, en utilisant par exemple les tables de la loi normale.

Pour rester valable l'étude doit se restreindre à évaluer la différence d'efficacité des soins prodigués aux deux groupes. Ces groupes ne doivent se distinguer que par l'ajout additionnel de la technique à évaluer, ici une application d'ondes de choc.

En effet, il serait impossible de mesurer l'efficacité de plusieurs paramètres avec la loi Normale. La loi normale est l'outil qui permet d'analyser un seul paramètre à la fois. On peut supposer la normalité des données car on répète n fois une seule expérience de Bernoulli.

De plus, il faut prendre en considération une autre difficulté : celle relative au fait que l'on ne peut pas accueillir des patients en soin en cabinet et s'abstenir de tout traitement au seul motif que l'on a besoin d'un groupe témoin. Il est donc nécessaire que l'outil statistique retenu puisse mesurer une différence d'efficacité, liée au seul paramètre étudié, au sein d'un ensemble de techniques de soin qui ne sont rarement homogènes.

Notre échantillon initial, la patientèle du cabinet, parait très modeste pour être représentatif de la population. La faiblesse de l'effectif de notre échantillon ajoute effectivement une difficulté supplémentaire : elle ne permet pas de respecter les conditions inhérentes à la Loi Normale. C'est pourquoi il faudra choisir un test certes moins puissant mais plus souple, non paramétrique. Il peut cependant être analysé sous forme d'une représentation simplifiée du modèle global.

b – Le choix des hypothèses H0 et H1.

Il est impossible de retenir les différentes pathologies dont souffrent les patients participant à l'étude comme des variables aléatoires ; elles présentent trop de variété. En revanche, nous pouvons émettre l'hypothèse que la somme de ces variables aléatoires, issues de notre modèle global, la patientèle du cabinet, permet de modéliser l'unique variable « douleur ». Elle devrait alors tendre vers la forme d'une loi normale de moyenne, dite espérance « Mu » désignée par la lettre grecque µ.

Cependant, le petit nombre de patients testé, moins de vingt dans chaque groupe, ne permet pas de garantir la normalité des groupes d'échantillonnage. Il faut alors se placer dans un cas de figure où ce critère de normalité des échantillons n'est pas requis pour plus

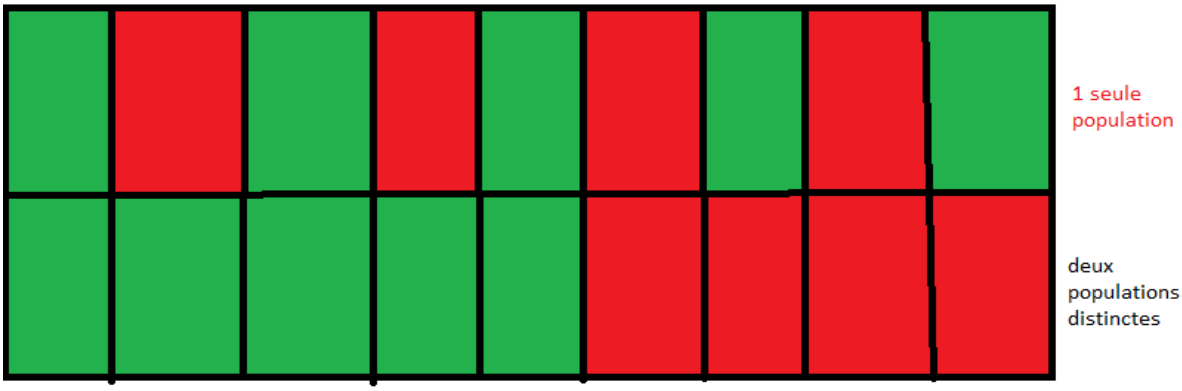
de sécurité et avoir un modèle plus générique, à savoir d'effectuer un test non paramétrique qui sera moins puissant mais utilisable dans un plus grand nombre de situations.

Voici les hypothèses que nous formulons :

- **H0** : hypothèse nulle selon laquelle nos deux échantillons proviennent de la même population et donc que les rangs des valeurs attribués à nos deux groupes sont homogènes.
- **H1** : hypothèse alternative que nous cherchons à mettre en évidence = les rangs des valeurs attribués à nos deux groupes sont fortement séparées. Les échantillons ne sont pas homogènes. Les deux groupes sont différents.

3 – Analyse des données par le test de Wilcoxon.

Pour analyser les données recueillies, on utilisera un Test de Wilcoxon basé sur la loi des rangs. Il s'agit de mélanger les deux groupes que nous avons constitués tout en attribuant une valeur par ordre croissant de ses valeurs dans notre nouveau groupe. Les rangs de chacune des valeurs de la population fusionnée sera distribué de manière aléatoire. C'est à dire qu'il y aura autant de valeur forte provenant du premier groupe que du second et pas une séparation nette entre les valeurs du premier groupe par rapport au deuxième sous l'hypothèse H0 ; inversement, dans l'hypothèse H1 que nous recherchons, il y a une séparation nette des rangs.



Partant de ce principe, une statistique sera calculée nous donnant une valeur de p-value par rapport à notre hypothèse nulle. La p-value peut se définir comme la probabilité critique par rapport à la distribution des rangs. Elle explicite la densité de probabilité de la Loi Normale : l'ensemble des probabilités d'avoir atteint notre valeur statistique en dessous de l'hypothèse du hasard, ici avec la loi des rangs de wilcoxon. Si l'on se réfère à la courbe de la

Loi Normale, la p-value correspond à l'aire située sous la courbe ; elle regroupe l'ensemble des probabilités d'avoir atteint une valeur statistique supérieure à la nôtre, sous l'hypothèse du hasard.

A l'issue de ce test, nous obtiendrons deux situations possibles :

- La première étant que le résultat donné par le test est supérieur à 0,05 (notre seuil) et donc n'est pas significatif. Nous ne pourrons pas rejeter l'hypothèse nulle H0. On accepte donc l'hypothèse alternative H1, et donc le caractère non homogène des échantillons. Le risque de seconde espèce B est incalculable ; ce risque B correspond à la probabilité de ne pas rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est fausse.
- La seconde situation possible est celle où le test est significatif. Nous acceptons alors l'hypothèse alternative au risque de première espèce alpha, probabilité de rejeter à tort l'hypothèse nulle. Nos deux groupes sont donc bien différents et nous l'expliquerons par le fait que nous avons appliqué le traitement par ondes de chocs sur l'un des deux groupes.

Lorsque la valeur de la p value est inférieure à 0,05, on peut en déduire que la différence que l'on trouve entre les deux groupes ne peut pas être due au hasard, et donc que le test est valide.

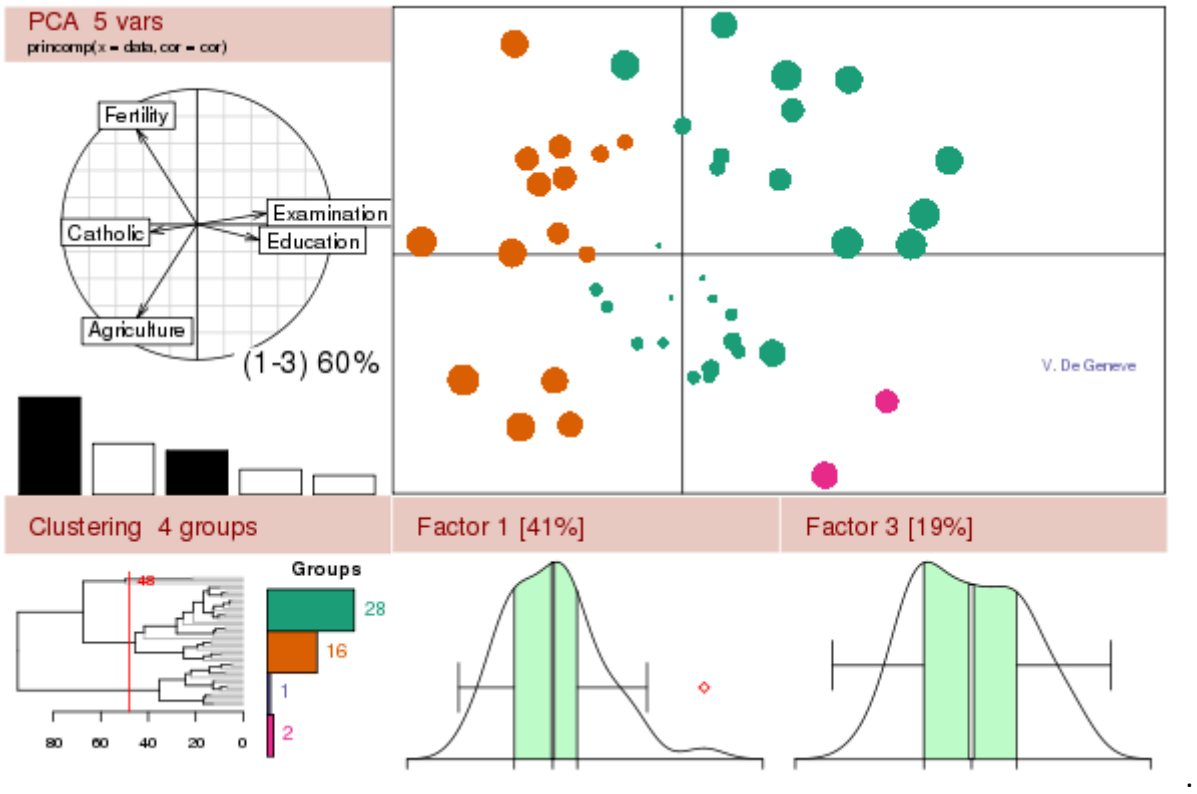
La mise en œuvre du test de Wilcoxon est hors de portée de qui n'est pas rompu aux finesses des biostatistiques. Il nous fallait trouver un moyen d'automatiser ce calcul. C'est ce qui a été réalisé par une communauté de mathématiciens bénévoles qui mettent à la disposition de tous un logiciel de calcul gratuit (4).

4 – Manuel d'utilisation du logiciel R

L'analyse des données est inaccessible à un praticien de base bien incapable de réaliser des calculs d'algorithmes. Elle peut être effectuée assez simplement à l'aide d'un logiciel gratuit conçu par R-project[24].

R est à la fois un langage et un environnement de travail utilisable dans des domaines variés tels que la chimie, les mathématiques, l'analyse financière et les biostatistiques. Il est très proche du langage S développé par les laboratoires Bell. On parle de GNU project, membre de la Freeware Software Foundation. Il a été créé en Nouvelle Zélande à l'université d'Auckland par Ross IHAKA et Robert GENTLEMAN[25].

[24] http://www.r-project.org/
[25] IHAKA R., GENTLEMAN R. *R: A Language for Data Analysis and Graphics*. Journal of Computational and Graphical Statistics 5 1996 (3): 299–314.



Ce logiciel est d'une utilisation assez simple pour être accessible à un non-spécialiste. Il est de plus gratuit ce qui lève un frein à l'évaluation de techniques de kinésithérapie par le plus grand nombre.

a – Installation du logiciel.

Ce logiciel « R » est disponible pour windows, mac ou linux. Il est téléchargeable par exemple sur : http://cran.univ-lyon1.fr/

Il doit être installé sur l'ordinateur et fonctionne comme un terminal informatique. Par exemple, si on lui soumet 2+2, il répondra 4. L'attribut de la fonction soumise est mis entre parenthèses.

b – Préparation des données

Les données sont tout d'abord intégrées à un tableau excel enregistré en .txt. Le groupe test sera affecté à une première colonne, le groupe témoin à une seconde colonne du tableau. Ce format sera lisible par le logiciel R. Par défaut, si l'on n'attribue aucun nom à chacune des

colonnes, celles-ci seront identifiées par le logiciel R. Mais il est préférable de donner à ce stade un nom à chaque colonne pour s'y retrouver. Par exemple col1 et col2.

c- Localisation des données

On désigne enfin la localisation de ce fichier dans l'ordinateur au logiciel R afin qu'il puisse l'ouvrir. Il faut pour cela choisir le menu « Fichier » puis « Changer le répertoire courant » et enfin désigner l'endroit où le fichier contenant les données a été enregistré.

d – Analyse de l'échantillon.

Il faut indiquer au logiciel quelles sont les données qu'il doit analyser. Pour cela, il faut taper dans la ligne de commande du logiciel R la fonction :

echantillon= read.table(«. /donnees.txt.txt »)

Cette fonction permet d'importer le tableau excel dans l'objet « echantillon » du logiciel R. Dans cet exemple, le fichier contenant les données a été nommé « donnees » et enregistré au format « .txt ».

Il faut noter que si l'on a attribué un nom aux colonnes, la commande devient alors :

echantillon= read.table(«. /donnees.txt.txt »,h=True)

On vérifie que l'importation des données s'est correctement effectuée en tapant la commande :

echantillon

On voit alors apparaitre les deux colonnes de données, auxquelles le logiciel aura attribué un nom, par exemple V1 et V2.

e – Test de Wilcoxon

Le résultat de la recherche statistique sera obtenu en lançant le calcul du test de Wilcoxon. Il faudra pour cela taper la fonction suivante :

wilcox.test(echantillon$col1, echantillon$col2)

Par défaut, si l'on omet d'attribuer un nom à chaque colonne, il faut remplacer col1 et col2 par echantillon$V1 et echantillon$V2, V1 et V2 correspondant au nom que le logiciel R a attribué automatiquement aux colonnes. Cette désignation est variable, on peut trouver X2 et X4…..il faut donc se référer à l'étape de lecture des données lorsque l'on tape la commande « echantillon ».

f – Interprétation du test:

Le test statistique est réussi s'il existe une différence entre le groupe test et le groupe témoin qui ne soit pas due au hasard. Cette différence est exprimée par la p-value calculée par le logiciel R.

Lorsque la p-value est inférieure à 5%, soit 0,05, alors le test est statistiquement significatif.

Conclusion : Un outil statistique adapté

La mise en œuvre d'une étude statistique valable est donc possible au sein d'un cabinet libéral malgré le manque de moyens en bio-statistiques. Il convient de constituer deux groupes de patients par tirage au sort. La représentativité de l'échantillon et la validité des données recueillies est garanti par le recours à la Loi Normale. L'analyse des données, confiée à un logiciel gratuit, ne constitue alors pas un obstacle infranchissable. Cette approche autorise le calcul de la p-value par le logiciel R permettent de décider si une différence concernant un seul paramètre qui distingue deux groupes de patients est statistiquement significative ou pas.

Ce calcul de p-value permet d'exprimer la probabilité selon laquelle une différence relevée entre les deux groupes de patients est le fait du hasard ou non.

La méthode que nous avons décrite est relativement facile à mettre en œuvre ; elle permet à tout praticien d'évaluer son travail, sans dépendre d'une aide extérieure, et de façon totalement gratuite. Elle pourrait être proposée, éventuellement en ligne, à la communauté des collègues pour les aider dans leurs travaux de recherche.

Appliquons à présent cet outil statistique à l'objet de notre travail en décrivant tout d'abord le protocole expérimental retenu (B).

B - PROTOCOLE EXPERIMENTAL

1 - Mise en place du test

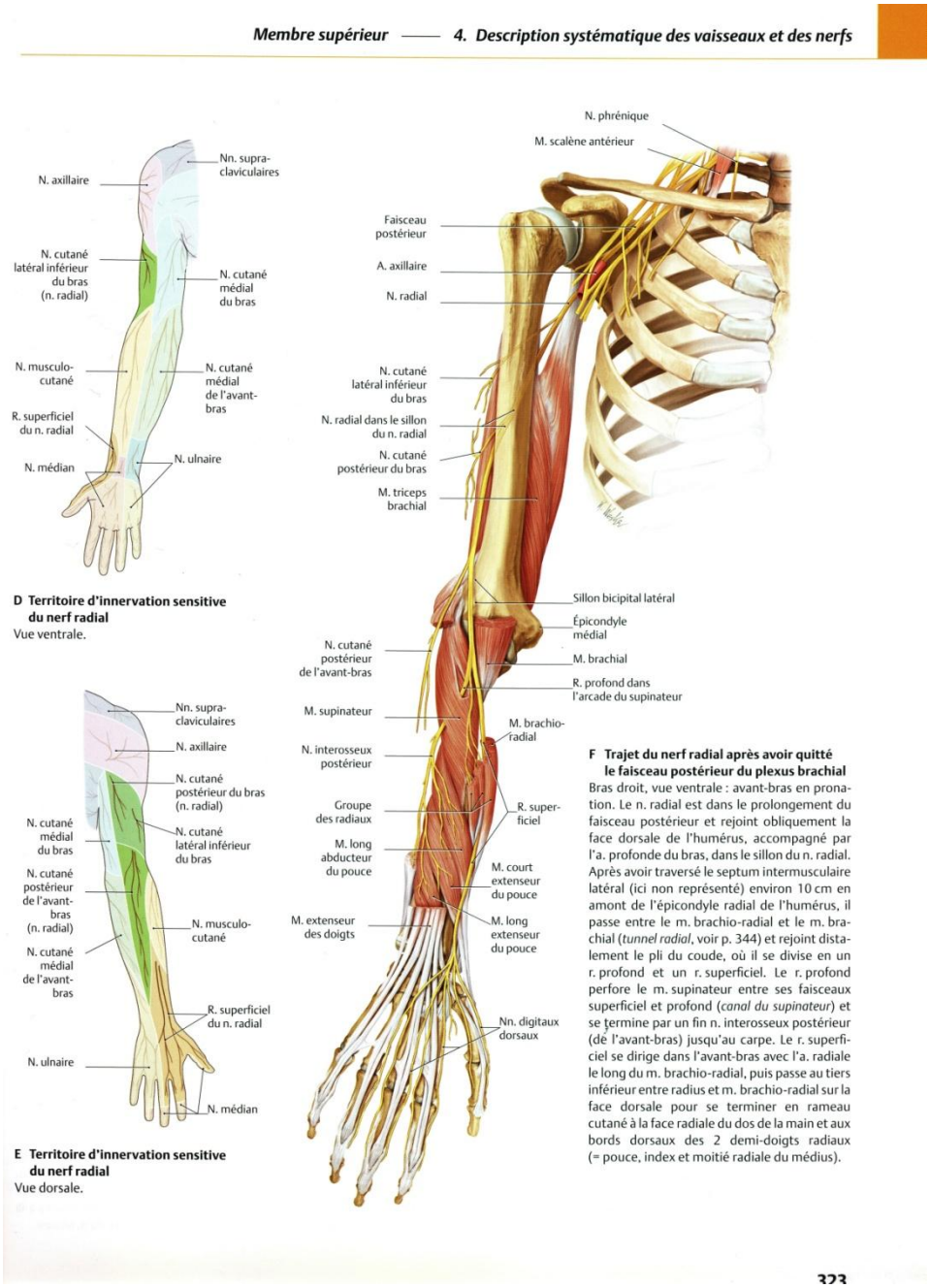
A l'échelle d'un cabinet libéral, la mise en œuvre d'une étude statistique n'est possible qu'à la condition qu'elle ne perturbe pas les traitements que les patients, et leurs médecins prescripteurs, s'attendent à voir appliqués. En effet, il serait inopportun sur le plan économique, relationnel et même déontologique de priver les patients de tout l'arsenal thérapeutique dont nous disposons à seule fin de tester une nouvelle technique. Nous avons donc choisi d'évaluer l'efficacité du recours aux ondes de choc à titre antalgique sur deux groupes de patients recevant par ailleurs l'intégralité de leurs traitements.

La seule différence réside dans l'utilisation ou non des ondes de choc. La ventilation entre les deux groupes s'effectue par lancer de pièce, à pile ou face, pile pour le groupe témoin, face pour le groupe test.

Le groupe de patients testé reçoit le protocole suivant :

a - Site d'application :

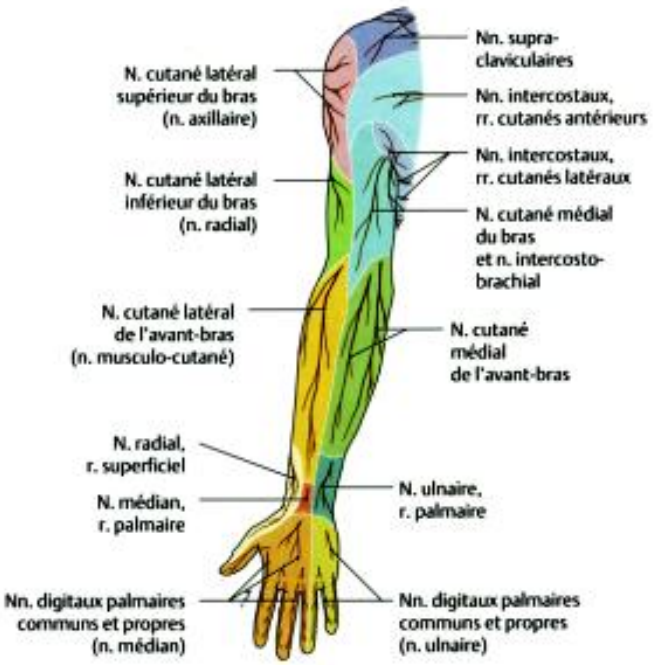
Les ondes de choc sont appliquées sur le membre du côté douloureux. Nous avons choisi d'appliquer la stimulation au niveau du coude, dans la masse des muscles épicondyliens. Nous choisissons volontairement une localisation proche de la zone d'insertion afin de ne pas toucher le nerf radial qui opère sa division en deux branches, antérieure sensitive et postérieure motrice avant de pénétrer sous l'arcade de Fröhse.



26

La stimulation est effectuée dans la masse musculaire des épicondyliens dans un territoire sensitif cutané dépendant du nerf cutané latéral de l'avant-bras :

[26] Schéma tiré de : SCHUNCKE M.et al. *Atlas d'Anatomie Prométhée*. Ed. Maloine. p. 323.



F Innervation cutanée sensitive périphérique d'un bras droit
Vue ventrale. Les territoires des nn. cutanés périphériques (rr. cutanés) correspondent à la disposition des ramifications des rr. cutanés telles qu'elles apparaissent lors d'une dissection du tissu conjonctif sous-cutané. Les territoires spécifiques cliniques de chaque nerf sont souvent significativement plus petits.
Attention au fait qu'un déficit de sensibilité à la suite d'une blessure d'un *n. périphérique* se traduit de façon tout à fait différente d'un déficit sensitif après blessure d'une *racine nerveuse*.

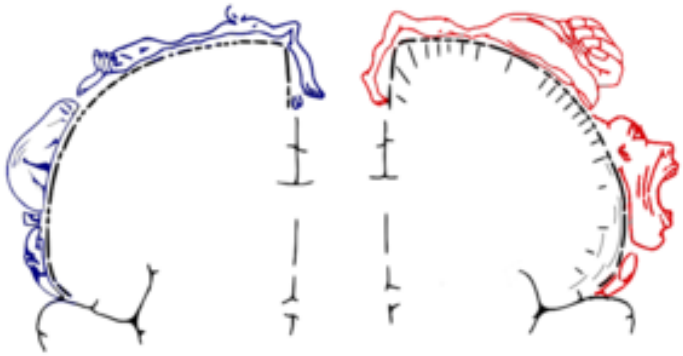
27

Stimulation au niveau du coude[28]

Ce choix qui peut paraître surprenant est le résultat d'une observation pratique. Outre le grand investissement psychologique que reçoit la main[29], celle-ci est également le siège

[27] SCHUNCKE M.et al. *Atlas d'Anatomie Prométhée*. Ed. Maloine.
[28] Crédit photo: www.ondesdechoc.eu

d'une très grande sensibilité. On remarque la fraction importante qu'elle occupe au sein de l'homonculus sensitif par rapport au reste du corps.



Homonculus sensitif en bleu, moteur en rouge

La douleur y est perçue de façon particulièrement forte. De plus, les parties molles, muscles, tendons, tissu cellulaire sous cutané y sont très fins, proposant une fine interface entre la peau et les reliefs osseux. Il semblait logique de ne pas chercher à appliquer une stimulation par ondes de choc sur une zone aussi sensible et peu susceptible d'absorber les chocs.

b – Paramètrage de l'appareil à ondes de choc.

Pour tous les patients du groupe test, la séance d'ondes de choc est composée de 2000 coups à une fréquence de 16 Hz et à une intensité de 1,5 bar. Ce choix est arbitraire et correspond pour la plupart des patients à une stimulation à la fois puissante mais restant supportable. Il faut que le traitement puisse être accepté par des patients souffrant de leur main parfois depuis longtemps et peu enclins à souffrir d'avantage.

Ce réglage a été conservé sans modification pour tous les patients du groupe test.

c - Evaluation de la douleur.

Chaque patient évalue sa douleur en début de séance et après la séance au moyen d'une échelle numérique analogique.

[29] DOLLE P.M.: *La main, parking de nos angoisses*. Ed. Pli 2002.

On note la différence de douleur de la main entre le début et la fin de la séance, et ce dans les deux groupes. On pourra ainsi comparer le différentiel, la plus-value en terme de réduction de la douleur, qu'apportent respectivement les séances sans et avec ondes de chocs.

2 – Les données de notre expérimentation.

Le recueil des données destinées à servir de base à notre étude fut un exercice long et chronophage. Il fut en effet nécessaire de d'expliquer à chaque patient la démarche en cours et de recevoir son consentement. Aucun patient n'a refusé de participer, nous avons ainsi pu constituer deux groupes composés de dix-huit patients chacun.

Conformément au protocole établi, il était noté pour chaque patient l'évaluation de sa douleur par échelle numérique analogique avant puis immédiatement après la séance. Nous avons calculé la différence entre ces deux chiffres et reporté ce résultat dans le tableau, sachant qu'aucun patient n'a décrit d'augmentation de la douleur.

C'est ainsi que par exemple pour la première ligne du tableau, le premier patient du groupe témoin a décrit une baisse de douleur de deux points, tandis que le premier patient du groupe ondes de choc a connu une baisse de 4 points de sa douleur.

Tableau des données

Groupe témoin	Groupe Ondes de Choc
2	4
1	3
0	6
2	0
3	4
2	4
2	5
0	6
2	4
3	3
4	4
2	3
2	4
1	7
2	4
3	4
4	4
0	7

3 – Résultat de notre étude.

En suivant toujours notre protocole d'analyse, nous avons soumis les données ainsi recueillies au Test de Wilcoxon qui aboutit au calcul de la p-value par le logiciel R.

Nous obtenons une p-value de :

0,04829

Cette valeur est inférieure à 0,05. La différence entre le groupe test et le groupe témoin est donc significative, elle n'est pas due au hasard mais à une différence d'efficacité des deux traitements au regard de l'unique paramètre analysé.

C'est avec un soulagement non dissimulé que nous avons accueilli ce résultat positif. En effet, il aurait été très décevant que cette recherche aboutisse à une impasse après la longue recherche relative à la méthode statistique ainsi qu'à la collection des données. Nous étions prêts à admettre que les observations cliniques positives étaient dues au hasard ; mais puisque ce n'est pas le cas, nous allons tenter de proposer une explication rationnelle à l'efficacité des ondes de choc pratiquées à distance (seconde partie).

SECONDE PARTIE :

EFFET ANTALGIQUE DES ONDES DE CHOC A DISTANCE: HYPOTHESES

Au-delà des argumentaires commerciaux, l'effet purement antalgique des ondes de choc a été relevé par certains auteurs, mais il est rarement cité ou recherché dans la littérature[30]. Les auteurs analysent en effet volontiers l'efficacité de leurs traitements de façon globale ; la douleur n'étant que l'un des paramètres.

L'étude de Maier et al. concerne 85 patients mais est dépourvue de groupe témoin ; de plus, aucune explication à l'effet antalgique observé n'est avancée.

Une revue de littérature réalisée en 2010 par Storheim et al. a recensé 54 études pour n'en retenir que 27 de qualité suffisante[31]. Ces études ne retrouvaient d'effet sur la douleur que lorsque les ondes de choc étaient utilisée pour une calcification de la coiffe des rotateurs ou pour une épicondylalgie chronique. En revanche là encore, aucune explication théorique n'était proposée.

M. Gleitz a présenté plusieurs études non publiées lors de différents congrès. Il note une efficacité des ondes de choc avec réduction de la douleur de 80 % et récupération d'amplitudes articulaires chez le patient cervicalgique en traitant les *trigger points*[32]. L'auteur évoque l'hypothèse d'un effet « anti-irritatif » par stimulation des nocicepteurs A-delta[33].

---

[30] MAIER M , DURR RH , KOHLER S , STAUPENDAHL D , PFAHLER M. *Effet antalgique des Ondes de choc extracorporelles basse énergie dans la tendinopathie calcanéenne, épicondylite radiale et fasciite plantaire*. Z Orthop Ihre Grenzgeb 2000 Mar-Apr; 138 (2): 185.
KAPOOR S. *Pain management in patients with plantar fasciitis, the emerging role of radial extracorporeal shockwave therapy*. J. Foot Ankle Surg. 2012 juil-aug 51(4) 541.
ALTKINS D., CRAWFORD F., EDWARDS J., LAMBERT M. *A systematic review of treatments for the painful heel*. Rheumatology (Oxford). 1999; 38:968-973.
WANG CJ. *An overview of shock wave therapy in musculoskeletal disorders*.
Chang Gung Medical Journal. 2003; 26(4):220-32.

[31] STORHEIM K. GJERSING L. BOLSTAD K. RISBERG MA. Forskningssenter NAR Oslo. *Thérapie extracorporelle par ondes de choc dans la douleur musculosquelettique chronique*. Tidskr ne laegeforen, oct 2010 (2) 130 (23) 2360-4.

[32] GLEITZ M. *Shock waves for the treatment of myofascial pain in neuro orthopaedics, a new treatment option*.51ème annual meetingof the association of southern german orthopaedists e; V. Baden Baden 2003.

[33] GLEITZ M. *Trigger point shockwave therapy*.German congress for orthopaedics and trauma surgery. Berlin 2006. L'auteur a présenté en 2008 une étude comparative entre les ondes de choc focales et les ondes de choc défocalisées, ces dernières présentant une meilleure efficacité. Il n'y a toujours aucun groupe témoin.

M. Lohrer a comparé les résultats positifs de ce traitement appliqué aux douleurs des tendinopathies d'achille et des syndromes rotuliens[34].

M. Notarnicola[35] a montré, dans une étude portant sur 30 cas, l'efficacité d'un traitement consistant en trois applications de 4000 coups d'ondes de choc à 72 h d'intervalle ; les résultats sont jugés satisfaisants dans 76,7 % des cas après deux mois et 80 % après six mois.

Les bons résultats observés et l'innocuité de cette technique ont conduit à son autorisation aux USA par la *Food and Drugs Administration*[36].

Des effets antalgiques ont également été observés avec l'utilisation des vibrations, technique proche de celle des ondes de choc[37].

Nous nous rapprocherons des connaissances relatives au contrôle de la transmission du message douloureux pour déterminer s'il est possible d'attribuer un mode d'action cartésien à l'effet antalgique que produit l'application d'ondes de choc à distance d'une main algique. Nous envisagerons tout d'abord la régulation périphérique de la douleur (I) avant d'aborder les mécanismes de contrôle situés à l'étage central (II).

[34] LOHRER H. SCHOLL J. ARENZ S. *Achillodynia and patellar tendinopathy; results of radial shockwave therapy in patients with unsuccessfully treated tendinoses*. Sportverl Sportschad 2002; 16:108-114.
[35] NOTARNICOLA A. et all. : *Shockwave therapy in the management of Complex Regional Pain Syndrom in med femoral condyle of the knee*. Ultrasound Med Biolo, juin 2010, (36)6. Cité par ANDRIEU D. lors de son intervention à la table ronde relative à la physiothérapie au congrès du GEMMSOR 2011.
[36] WANG C.J.*Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders*. J. Orthopaedic Surgery and Research. 2012 7-11.
[37] GAY A, PARATTE S, SALAZARD B, GUINARD D, PHAM T, LEGRE R, ROLLl JP. *Proprioceptive feedback enhancement induced by vibratory stimulation in complex regional pain syndrome type I: an open comparative pilot study in 11 patients*. Joint Bone Spine. 2007 Oct;74(5):461-6.

I – Contrôle périphérique du message douloureux :

Nous nous intéresserons dans ce chapitre aux structures anatomiques situées entre les capteurs sensitifs et le relais synaptique situé dans la moelle épinière. Après un bref rappel physiologique (A), nous évoquerons la modulation locale du message douloureux d'origine biochimique (B) puis le mécanisme, bien connu des masseurs-kinésithérapeutes, du Gate Control (C).

A- Rappel physiologique : la transmission de la douleur[38].

1 : Les nocicepteurs :

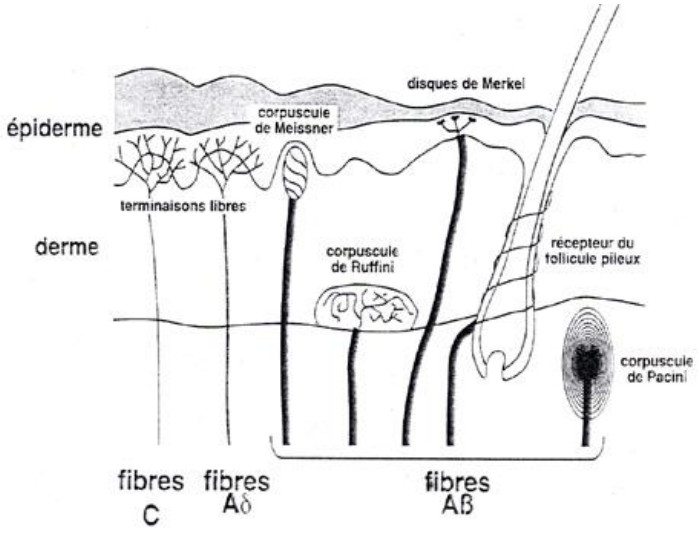
Le message nociceptif résulte de la stimulation des terminaisons libres amyéliniques (nocicepteurs), très nombreuses (200 par cm2), organisées en plexus, arborisées dans les tissus cutanés et musculaires et les parois viscérales. Les nocicepteurs cutanés existent sous 2 formes :

- les mécano-nocicepteurs, qui ne sont activés que par des stimuli douloureux mécaniques (pression, étirement). Ils se prolongent par des fibres de type A-delta.
- les nocicepteurs polymodaux, activés par des stimuli mécaniques, chimiques (substances algogènes), thermiques (T > 42°C). Ils se prolongent par des fibres de type C.

Les nocicepteurs cutanés ont pour caractéristiques un seuil de réponse élevé et nécessitant une stimulation intense, une absence d'activité spontanée, et une sensibilisation par une stimulation nociceptive répétée, ou hyperalgésie primaire

Il existe aussi des nocicepteurs profonds, présents au niveau de la capsule des organes pleins, le réseau musculaire des viscères creux, les parois vasculaires, les muscles striés, et les structures péri-articulaires. Ce sont des mécano-nocicepteurs, activés par l'ischémie, la distension, la contraction.

[38] PAYEN J.F. *Bases physiopathologiques et évaluation de la douleur*. Novembre 2002. Site internet d'enseignement de la faculté de médecine de Grenoble. Tous les rappels physiologiques sont tirés de cette source.



2 : La transmission de la douleur :

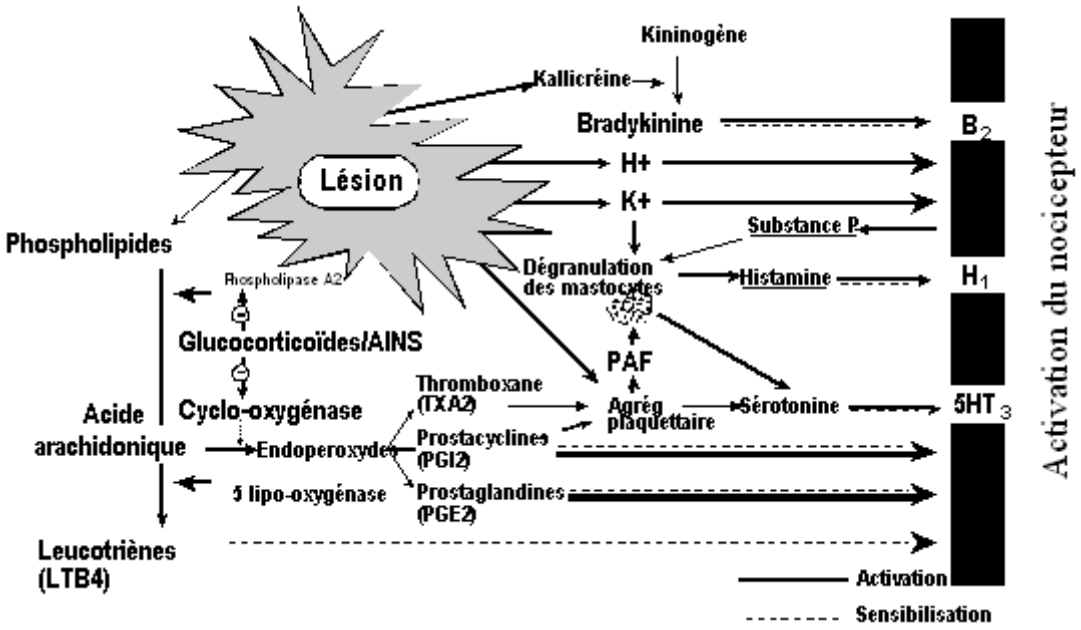
Après activation des nocicepteurs, le message est véhiculé jusqu'à la corne postérieure de la moelle par les fibres de petit calibre faiblement myélinisées (A-delta, vitesse de 4 à 30 m/s), responsables de la douleur localisée et précise à type de piqure, et par les fibres non myélinisées (C, vitesse de 0,4 à 2 m/s) responsables de la douleur diffuse, mal localisée, tardive à type de brûlure. Les afférences primaires fortement myélinisées (A-alpha-bêta, vitesse 30 à 120 m/s) répondent aux stimulations mécaniques modérées, comme le tact ou le toucher, mais ne répondent pas aux stimulations nociceptives.

B – Le contrôle biochimique : la soupe inflammatoire.

Les lésions tissulaires et l'inflammation engendrent la production d'un grand nombre de médiateurs qui, directement ou indirectement, contribuent à la sensibilisation des fibres afférentes périphériques. Les neurotransmetteurs et neuromodulateurs périphériques sont nombreux, d'où le terme de « soupe inflammatoire ». Ils sont libérés à partir des tissus lésés, des cellules sanguines (plaquettes, polynucléaires, mastocytes), des macrophages, et à partir des terminaisons des fibres afférentes (substance P, peptide lié au gène de la calcitonine ou CGRP). Parmi ces substances, on distingue :

- la bradykinine, maillon chimique essentiel. Outre son action directe pronociceptive, elle induit une cascade d'effets avec libération des autres médiateurs, augmentation de la perméabilité vasculaire, vasodilatation et chémotactisme leucocytaire.

- les prostaglandines (PG), qui ne sont pas algogènes, mais sensibilisent les nocicepteurs à l'action d'autres substances (abaissement du seuil d'activation).
- l'histamine, qui est prurigineuse puis douloureuse. Elle est issue de la dégranulation des mastocytes.



La Soupe Inflammatoire[39]

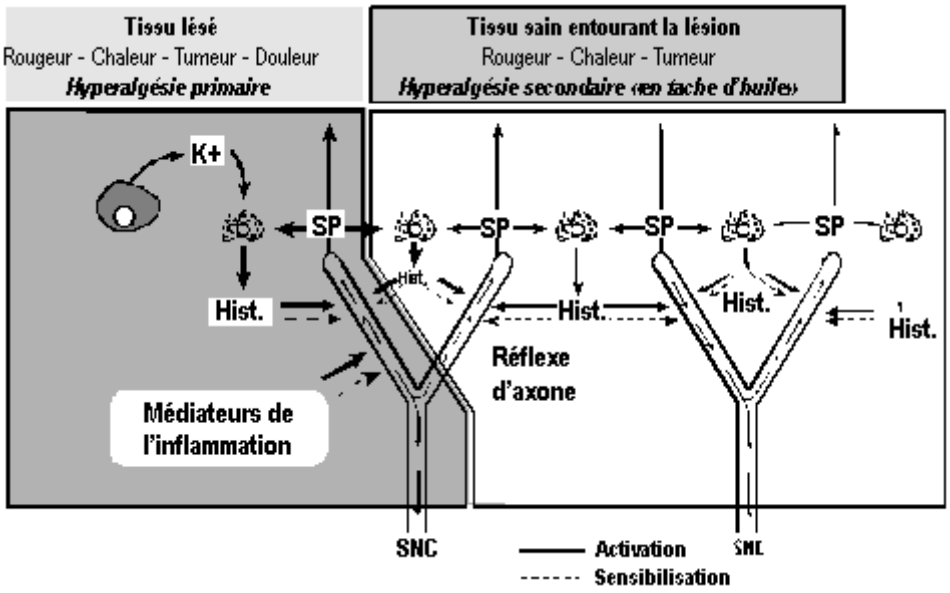
Le message nociceptif initial peut être amplifié par des mécanismes d'hyperalgésie :

L'hyperalgésie primaire concerne les tissus lésés, les substances libérées augmentent l'inflammation au niveau lésionnel. Elle se traduit par une modification des réponses avec un seuil d'activation plus bas, une latence diminuée, des réponses exagérées aux stimuli habituels non nociceptifs (allodynie) voire une activité spontanée.

L'hyperalgésie secondaire concerne les tissus sains péri-lésionnels, les fibres adjacentes sont sensibilisées par le biais du réflexe d'axone. Cette amplification du message nociceptif joue un rôle dans le déclenchement de l'alerte et des réactions servant à la maîtriser.

Le réflexe d'axone ou « inflammation neurogène » correspond à la libération en périphérie des neuropeptides algogènes (substance P, CGRP, neurokinine A) présents dans le ganglion rachidien. Ces neuropeptides circulent par voie antidromique le long des fibres nociceptives activées. Ils sont libérés au niveau du site lésionnel ainsi qu'à la périphérie de la lésion initiale et vont intéresser progressivement tous les tissus sains adjacents. C'est une hyperalgésie en tache d'huile ou hyperalgésie secondaire.

[39] PAYEN J.F. d'après GUIRIMAND et Le Bars, 1996.



Reflexe d'Axone[40]

Le réflexe d'axone se produit sans participation du système nerveux central. Son point de départ consiste en une stimulation des récepteurs sensitifs qui passe par les centres médullaires avant de déclencher une réponse dans l'organe réceptif et une libération de neuromédiateurs notamment de substance P dans les cellules environnantes.

Tous ces mécanismes tendent à augmenter la douleur. Il faut imaginer pouvoir les perturber pour espérer affaiblir la transmission du message nociceptif. C'est ainsi que certains auteurs évoquent l'hypothèse d'une action des ondes de choc sur cette chimie locale grâce à une libération d'endorphines *in situ*[41]. Cette piste expliquerait la raison de la diminution rapide de la douleur locale en cours d'application des percussions. Cette hypothèse ne convainc guère dans le cadre de notre étude puisque les percussions sont effectuées à distance du site douloureux.

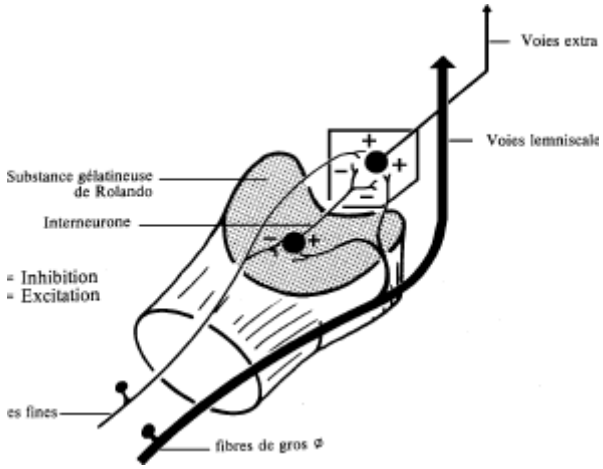
Il est aussi classique de décrire parmi les effets du massage une action inverse à celle du réflexe d'axone par stimulation cutanée. Là encore, la stimulation ou niveau du coude ne correspond pas à un organe référé d'un éventuel réflexe d'axone partant de la main.

Abordons à présent la théorie familière du contrôle de la porte ou Gate Control (C).

[40] PAYEN J.F. d'après GUIRIMAND et Le Bars, 1996.
[41] CREPON F. *Ondes de chocs radiales et traitement des tendinopathies*. Kinésithérapie Scientifique, n° 413 juillet 2001, p 59.

C – La théorie du Contrôle de la Porte ou Gate Control.

Au cours des années soixante, Melzack et Wall[42] proposèrent la théorie du gate control à propos d'un contrôle segmentaire exercé sur le message nociceptif. Selon cette théorie[43], la stimulation sélective des grosses fibres afférentes A-alpha (non douloureuses) bloque les petites fibres nociceptives A-delta et C au niveau de la substance gélatineuse de la moelle. Un interneurone inhibiteur, recruté par les grosses fibres (A-alpha) et inhibé par les petites (A-delta et C), module la douleur au niveau de la moelle. L'intégration médullaire des messages excitateurs et inhibiteurs s'achemine ensuite vers les cellules de projection concernées.



Selon la théorie du Gate Control, le TENS conventionnel (haute fréquence, basse intensité) soulage la douleur en réduisant la perception de l'information nociceptive. Ces courants antalgiques sont d'utilisation courante en kinésithérapie[44]. À court terme, le TENS s'avère efficace pour soulager la douleur lombaire chronique[45] même si certains auteurs le trouvent inefficace[46]. Il faut noter que la caféine (dès 200 mg soit deux ou trois cafés), bloque

[42] MELZACK R., WALL P. *Pain mechanisms: A new theory*; Science, new series, vol. 150 n°3-99, 19 nov. 1965, p. 971-979.
[43] MELZACK R, WALL P. *Le défi de la douleur*. Paris. Editions Vigot, 3ème édition, 1989.
[44] VALEMBOIS B. , BLANCHARD M., MITERNIQUE B., NOEL L. : *Rééducation des troubles de la sensibilité de la main*. EMC Kinésithérapie Médecine Physique Réadaptation 26 064 A 10. Elsevier Masson 2012.
[45] BRILL M.M., WHIFFEN J.R. *Application of 24-hours burst TENS in back school*. Physical Therapy, 65, 1355-1357 (1985).
LAMPE J., DUNN B. *Symmetrical biphasic TENS waveform for treatment of back pain*. The Clinical Journal of Pain, 3, 145-151 (1987)
[46] DEYO R.A., WALSH N.E., MARTIN D.C., SCHOENFELD L.S., RAMAMURTHY S. *A controlled trial of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and exercice for chronic low back pain*. The New England Journal of Medicine, 322, 1627-1634 (1990)

totalement l'effet analgésique du TENS[47]. En conséquence, les fluctuations de l'efficacité du TENS dans les études peuvent s'expliquer strictement par la quantité de caféine ingérée.

Le mécanisme du Gate Control, ou théorie du contrôle de la porte, est également invoqué à l'appui de l'effet antalgique des ondes de choc[48]. Il constitue une source de justification pour les effets antalgiques attribués aux vibrations[49].

Une étude a montré que le mécanisme du Gate Control ne serait pas seulement localisé au niveau médullaire mais comprendrait également une composante corticale[50].

Cependant, cette hypothèse ne semble pas correspondre au *motus operandi* de notre étude puisque la stimulation mécanique est effectuée à distance et paraît peu susceptible d'agir sur un interneurone situé à un étage radiculaire différent. Même en supposant qu'une forte stimulation puisse recruter l'ensemble des fibres sensitives du nerf radial qui innerve notre zone d'application, cela n'expliquerait pas l'action antalgique qui fut observée chez des patients dont le territoire douloureux dépendait uniquement du territoire sensitif médian.

Au-delà du contrôle périphérique, le message douloureux peut être modulé au niveau central (II) :

[47] MARCHAND S., LI J., CHAREST J. - *Effects of caffeine on analgesia from transcutaneous electrical nerve stimulation*. New England Journal of Medicine, 333, 325-326 (1995).
[48] BARTH J., JAEGER J. H., LUTZ C. *Les ondes de choc*. Kinésithérapie Scientifique n° 445 juin 2004 p. 21.
[49] RITTWEGER J. *Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be*. European Journal of Applied Physiology© Springer-Verlag 200910.1007/s00421-009-1303-3
[50] INUI K. TSUJI T. KAKIGI R. *Temporal analysis of cortical mechanisms for pain relief by tactile stimuli in humans*. Cereb Cortex 2006. 16-355-65.

II – Contrôle central du message douloureux.

L'organisation centrale de la perception de la douleur est complexe et son étude n'est pas achevée. Après avoir envisagé quelques rappels physiologiques (A), nous évoquerons l'hypothèse du recours à la théorie du CIDN, pour contrôle inhibiteur descendant déclenché par la stimulation nociceptive, afin d'expliquer l'efficacité d'un traitement antalgique par ondes de choc à distance (B).

Nous évoquerons ensuite les modifications de la somatotopie cérébrale sensitive qui ont été observées dans les traitements par thérapie du miroir et de leurs implications éventuelles dans les mécanismes mis en jeu par nos ondes de choc (C). Nous ne négligerons pas pour autant les facteurs psychosomatiques pouvant interférer lors d'une expérimentation telle que la nôtre (D).

A – Rappels physiologiques : Intégration de la douleur au niveau cérébral et contrôles supraspinaux[51].

1. Intégration corticale de la douleur

Les stimuli nociceptifs sont intégrés essentiellement au niveau du cortex insulaire, de l'aire SII, et du gyrus cingulaire antérieur et, de façon plus inconstante, dans le thalamus et l'aire SI. Les réponses au niveau insulaire/SII et thalamiques reflètent la composante sensori-discriminitave de la douleur. La réponse du cortex SI est plus en rapport avec la stimulation nociceptive cutanée de surface (dépendante des sommations temporelles et spatiales) et modulée par l'attention portée au stimulus. La réponse thalamique, souvent bilatérale fait probablement intervenir des phénomènes d'éveil en réponse à la douleur. La réponse cingulaire antérieure reflète plutôt des processus attentionnels et émotionnels. L'attention au stimulus douloureux fait intervenir également le cortex pariétal postérieur et le cortex pré-frontal dorso-latéral droits qui participent au réseau cortical attentionnel et/ou mnésique.

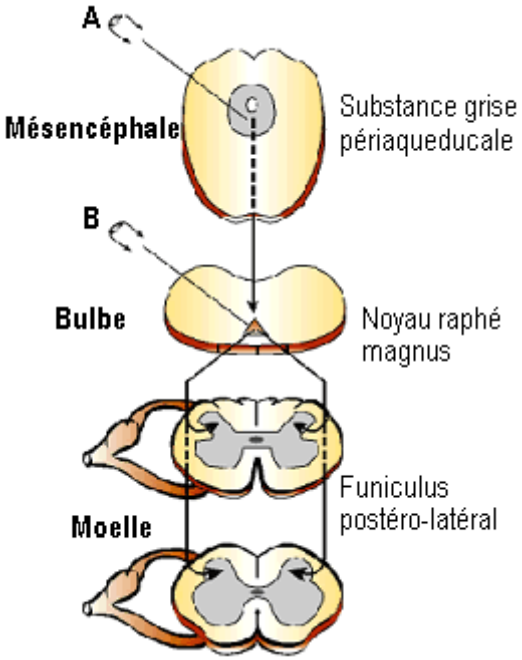
[51] PAYEN J.F. *Bases physiopathologiques et évaluation de la douleur*. Novembre 2002. Site internet d'enseignement de la faculté de médecine de Grenoble.
CALVINO B. GRILO R.M. *Le contrôle central de la douleur*. J. Rhum. 2004 11.012.

2. Les contrôles inhibiteurs descendants supraspinaux

Schématiquement, 2 types de contrôles inhibiteurs descendants ont été identifiés :

- les contrôles descendants déclenchés par des stimulations cérébrales

Ils sont issus du tronc cérébral (région bulbaire rostro-ventrale) pour agir sur la moelle. Au niveau bulbaire, plusieurs zones sont identifiées comme ayant une fonction analgésique : la substance grise périaqueducale (SGPA), le noyau raphé magnus (NRM), le noyau giganto cellulaire, le noyau réticulé latéral du tractus solitaire. A partir de cette région bulbaire, des fibres empruntent le funiculus dorsal et vont rejoindre les neurones spinaux à chaque étage et réaliser un effet inhibiteur sur les neurones convergents. Les neuromédiateurs impliqués dans ce système inhibiteur sont les substances opioïdes, la sérotonine et la noradrénaline.



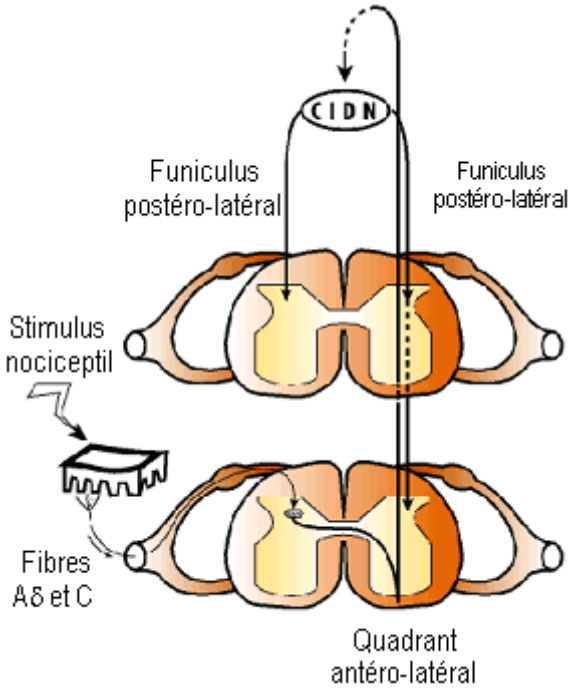
Contrôles inhibiteurs descendants[52]

- les contrôles inhibiteurs descendants déclenchés par stimulations nociceptives (CIDN)

L'application d'un stimulus nociceptif sur une zone du corps éloignée d'un champ récepteur d'un neurone convergent déclenche un mécanisme d'inhibition sur ce même neurone convergent. L'importance du CIDN est proportionnelle à l'intensité du stimulus et à sa durée.

[52] PAYEN J.F. d'après GUIRIMAND et Le Bars, 1996.

L'intégrité de la boucle de rétroaction est indispensable. La structure bulbaire impliquée dans cette boucle est la réticulée bulbaire. Les neuromédiateurs des CIDN seraient sérotoninergiques et endomorphiniques. Les CIDN pourraient jouer le rôle d'un filtre facilitant la détection des messages nociceptifs. Les neurones convergents véhiculent des informations nociceptives et non nociceptives, provenant d'origines différentes. Ces neurones ont donc une activité somesthésique de base quasi permanente. En cas de stimulation douloureuse provenant d'une population de neurones convergents donnés, il y a alors mise en jeu des CIDN. On assiste donc à une réduction d'activité des neurones convergents non concernés par cette douleur. Le contraste augmente entre le champ du neurone activé et la mise sous silence des neurones non concernés afin de mieux identifier la localisation précise de cette douleur. Par analogie, un chant au milieu du brouhaha d'une foule a peu de chance d'être entendu ; par contre la foule réduite au silence va permettre d'extraire le son d'une meilleure façon.



Le contrôle Inhibiteur Descendant par stimulation Nociceptive[53].

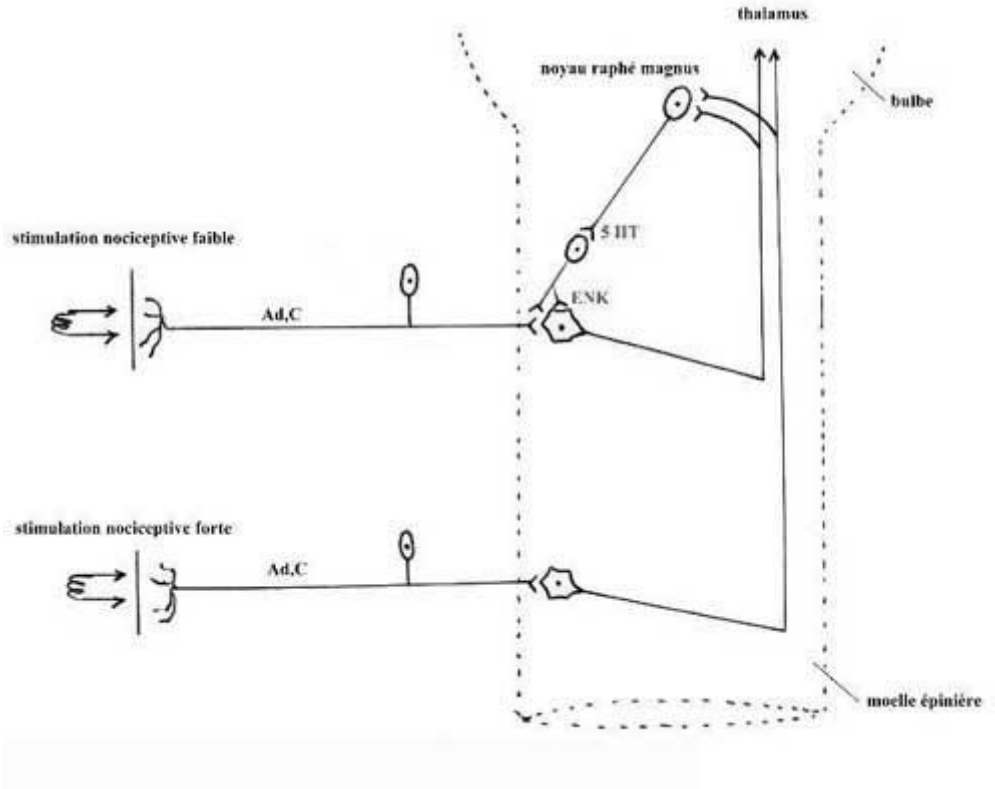
[53] PAYEN J.F. d'après GUIRIMAND et Le Bars, 1996.

B – L'hypothèse CIDN : une contre stimulation énergique.

Selon le Professeur Jean François Payen[54], « en clinique, la théorie des CIDN pourrait expliquer les douleurs de contre-irritation connues de longue date (pose de ventouses sur peau scarifiée), ainsi que les effets de l'acupuncture qui entraine une analgésie inhibée par la naloxone ».

Cette boucle de rétroaction négative déclenchée par une stimulation locale forte, soudaine et répétée, provoquerait en retour une inhibition partielle ou totale de la transmission des messages nociceptifs dans la substance gélatineuse de Rolando. La contre irritation provoquerait une libération d'endorphines et de sérotonine venant inhiber la sécrétion synaptique de substance P dans la corne postérieure de la moelle.

Cette théorie est particulièrement séduisante car elle fournirait une explication neuro-physiologique à l'efficacité de notre protocole expérimental d'application d'ondes de choc à visée antalgique, en particulier au regard du critère de leur localisation à distance du foyer douloureux.



Support anatomique du CIDN[55]

[54] Op. cit.
[55] Schéma tiré du site internet de l'ENS Lyon.

Lorsque deux stimulations nociceptives sont appliquées sur deux régions distinctes et distantes du corps, le foyer de neurones spino-thalamiques convergents activés par le stimulus le plus faible est inhibé. Cette organisation anatomique plaide en faveur d'une stimulation de courte durée à condition qu'elle soit suffisamment intense ; c'est le cas des ondes de choc.

Cette hypothèse relative au possible mode d'action antalgique des ondes de chocs à distance nous séduit particulièrement. Sans préjuger de la nature de l'accueil que notre mémoire recevra de la part de ses lecteurs, il nous a d'ores et déjà beaucoup apporté à travers la réflexion qu'il a rendue nécessaire. Nous tenons là une nouvelle justification de l'intérêt du développement d'une recherche institutionnalisée en masso-kinésithérapie : sans évolution au sein d'un cursus universitaire ambitieux, notre profession de trouvera pas de salut.

Si notre présent travail devait recevoir un accueil favorable, il pourrait ne constituer que le point de départ d'une série de recherches plus vastes dans le domaine du contrôle de l'intégration centrale du message douloureux. On peut imaginer par exemple vérifier s'il existe des sites préférentiels de contre stimulation nociceptive pour chaque partie du corps humain. La région du coude est la seule testée ici mais est-ce bien le meilleur choix ? On pourrait comparer avec nos outils statistiques simples deux groupes de patients, l'un traité par contre stimulation au coude et l'autre par exemple à l'épaule. Ou encore nous pourrions constituer le second groupe de patients traités du côté contro-latéral.

D'autres approches antalgiques utilisent des techniques de contre-irritation. C'est ainsi que la contre-stimulation à distance du site douloureux constitue l'un des piliers de la rééducation sensitive de Spicher[56] : lors de la stimulation tactile d'une zone d'allodynie, il est possible de déclencher une augmentation des douleurs survenant de façon décalée dans le temps, à distance de la stimulation elle-même. Le risque d'une aggravation iatrogène liée au traitement kinésithérapique ou orthétique étant important[57]. Pour cet auteur, la contre-stimulation vise les fibres à gros calibres des mécanorécepteurs sensibles à la fois aux stimuli vibratoires et aux stimuli tactiles[58] ; en revanche, il ne fait pas appel à la théorie du CIDN pour expliquer l'efficacité de ses traitements. De plus, les stimulations utilisées sont très douces mais répétées dans le temps.

[56] SPICHER C. *Manuel de rééducation sensitive du corps humain*. éd. Médecine et Hygiène 2003.
Spicher distingue plusieurs indications à l'utilisation de stimulations mécaniques en rééducation de la sensibilité: la désensibilisation d'un site de lésions axonales par vibrations mécaniques appliquées directement sur le site douloureux, la rééducation d'une allodynie mécanique par contre stimulation à distance, les hyposensibilités dans un cadre de névralgies et enfin le Syndrôme Douloureux Régional Complexe.

[57] SPICHER C., DELAQUAIZE F. et al. : *L'allodynie mécanique, une contre-indication temporaire pour certains traitements physiques*. Mains Libres 2010.
QUINTAL I. NOEL L. GABLE C. DELAQUAIZE F. BRET-PASIAN S. ROSSIER P. ANNONI J.M. MAUPAS E. SPICHER C.J. *Méthode de rééducation sensitive de la douleur*. EMC Kinésithérapie – Médecine physique- Réadaptation. 26-469-A-10

[58] SPICHER C.: *Manuel de rééducation sensitive du corps humain*. Editions Médecine et hygiène 2003, p. 117.

Il serait intéressant d'analyser différentes techniques antalgiques peu ou pas justifiées de façon scientifiques à la lumière de l'éclairage apporté par le contrôle inhibiteur descendant nociceptif. Nous pensons par exemple aux techniques dites de crochetage myofascial qui consistent à masser, étirer, stimuler en profondeur différentes parties du corps à l'aide d'un crochet métallique. Nous pensons aussi aux différentes techniques de massage[59] bien entendu mais en particulier à celles relevant du massage dit réflexe qui a recours à des manœuvres puissantes et souvent douloureuses tels les traits tirés de Teirich-Leube[60]. Dans ces traitements, l'auteur décrit en effet une zone du membre supérieur située grossièrement sur les omoplates[61] ; elle a également recours à des stimulations sur le membre supérieur lui-même, par exemple au niveau du coude[62]. Ne serions-nous pas là en présence d'une stimulation nociceptive ayant un effet antalgique à distance d'un foyer douloureux ? Un raisonnement similaire pourrait s'appliquer aux techniques de palpé-roulé[63].

D'autres mécanismes sont susceptibles d'expliquer les effets positifs de notre expérimentation, notamment celle relative à la neuroplasticité de la douleur (C).

C – La neuroplasticité de la douleur[64].

Les découvertes relatives à l'intimité du fonctionnement du cerveau se sont multipliées ces dernières années. Elles ont commencé à déboucher sur diverses application thérapeutiques, y compris dans le domaine de la rééducation de la main.

C'est ainsi que la découverte des neurones miroirs a permis la mise en place de protocoles de rééducation novateurs[65].

---

[59] LARDRY J.M. *Place du massage dans le traitement de la douleur*.www.cnrd.fr juin 2004

[60] TEIRICH-LEUBE H. *Le massage du tissu conjonctif dans les zones réflexes*, 1961 éd. par APELL A. et BLADENWECK H. qui sont les traducteurs de l'édition française.
Voir également les techniques de Dicke :
DICKE E., SCHLICK H., WOLFF A. *Thérapie manuelle des zones réflexes du tissu conjonctif : bindegewebsmassage*. Editions Maloine, 1972.

[61] TEIRICH-LEUBE H. op. cit. p.10.

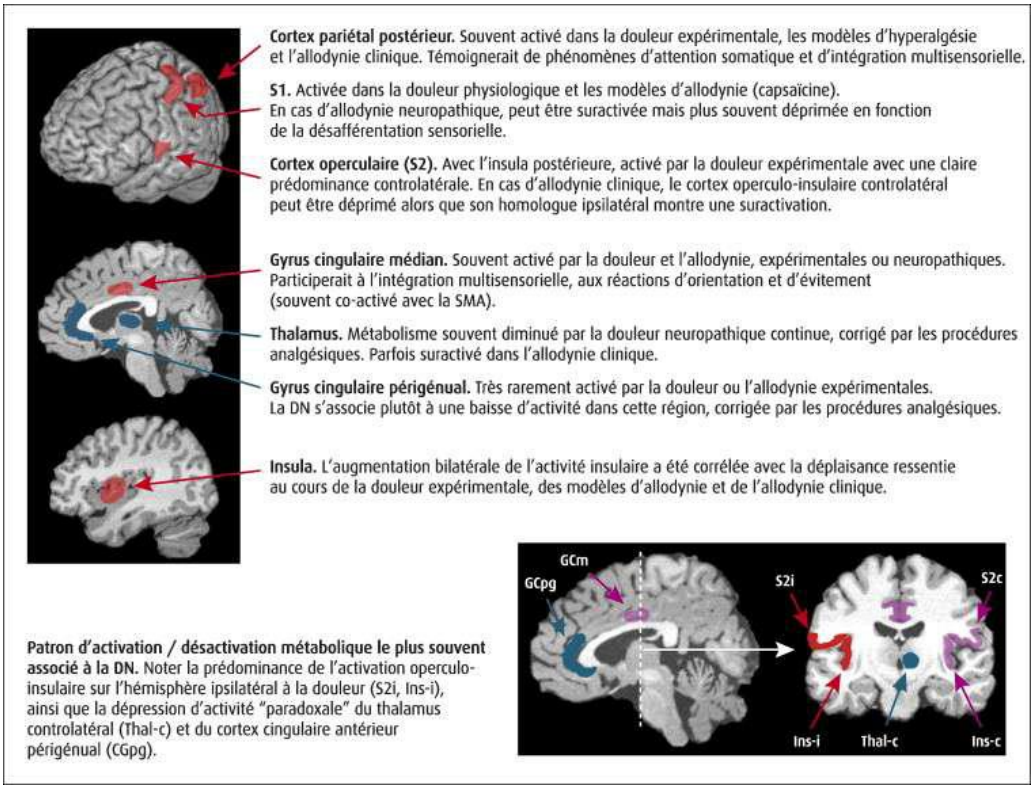
[62] TEIRICH-LEUBE H. op. cit. p. 90.

[63] DUFOUR M. et all *Massages et massothérapie : effets, techniques et applications*. Editions Maloine, Paris, 1999.
LARDRY J.M. *Hypothèses sur les effets antalgiques du massage*. Kiné Actualité n°866, septembre 2002, Ed. SPEK.
WARDAVOIR H. *Thérapies manuelles réflexes*. EMC Kinésithérapie, Médecine physique, Réadaptation. 26-130-A-10. Elsevier Masson 2011.

[64] Voir QUINTAL I. NOEL L. GABLE C. DELAQUAIZE F. BRET-PASIAN S. ROSSIER P. ANNONI J.M. MAUPAS E. SPICHER C.J. *Méthode de rééducation sensitive de la douleur*. EMC Kinésithérapie – Médecine physique- Réadaptation. 26-469-A-10. p.10

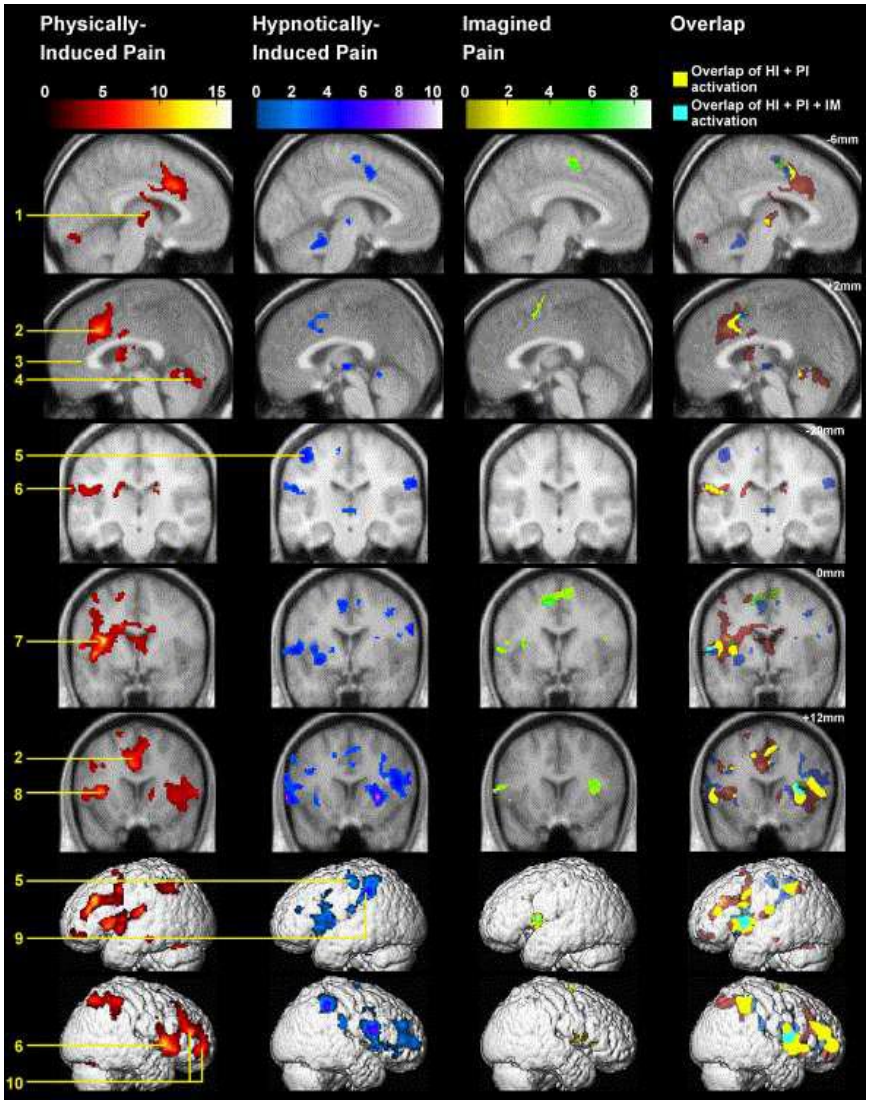
Les auteurs Le Bars et Willer[66] défendent la thèse selon laquelle la douleur modifierait l'organisation cérébrale : *« l'activité somesthésique de base, constituée par l'ensemble de ces informations joue un rôle important dans l'élaboration du schéma corporel, du moins dans sa composante qui complète le schéma postural. Un foyer douloureux, qui active un sous-ensemble segmentaire de neurones à convergence et inhibe le reste de la population, perturbe profondément cette activité. Il en résulte une déformation du schéma corporel au profit du foyer douloureux qui s'extrait de l'activité de fond et devient surdimensionné. »* Ces auteurs y voient la justification et l'intérêt d'un traitement précoce de la douleur, avant que cette réorganisation cérébrale ne soit trop installée.

Les données et les images qu'autorisent désormais l'IRMf accréditent cette théorie.



Garcia-Larrea L, Magnin M Press med 2008 ;37 :315-40

[65] Voir par exemple : CODINE P. LAFFONT I. FROGER J. *Imagerie mentale, thérapie en miroir, applications en rééducation*. Sauramps Médical 2012.
RAMACHANDRAN V. *Le cerveau fait de l'esprit, enquête sur les neurones miroirs*. Dunod 2011.
[66] LE BARS D. WILLER J.C. *Plasticité de la douleur, rôle des contrôles inhibiteurs diffus*. 2008 Elsevier Masson.



La plasticité cérébrale en réponse à la douleur a été montrée par Boudreau et al. : une douleur expérimentalement provoquée peut modifier rapidement la plasticité de l'aire motrice de la langue lors de la protrusion volontaire répétée[67].

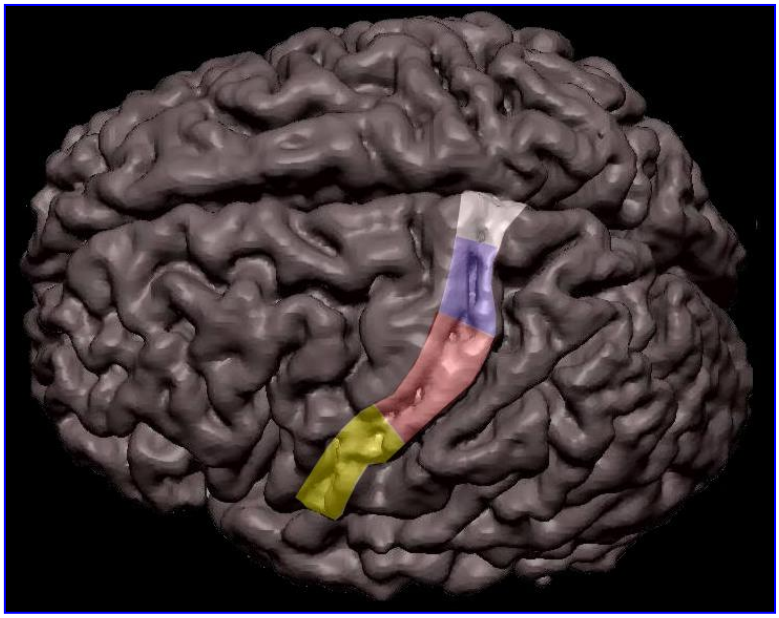
Le cortex somesthésique est capable de rapides modifications après désafférentation ce qui pourrait être dû à une perte du contrôle tonique des entrées nociceptives sur les systèmes inhibiteurs. Une réorganisation du cortex somesthésique a été constatée dans les 5 minutes suivant un stimulus nociceptif aigu[68]. A plus long terme les modifications somatotopiques se font plus marquées[69].

Des modifications de l'organisation cérébrale en réponse à la douleur seraient même possibles à la simple évocation d'une douleur. C'est ainsi que Stuart et al. ont montré, par imagerie en résonance magnétique nucléaire fonctionnelle, une activation plusieurs zones du cerveau impliquées dans la nociception (thalamus, cortex cingulaire antérieur, insula,

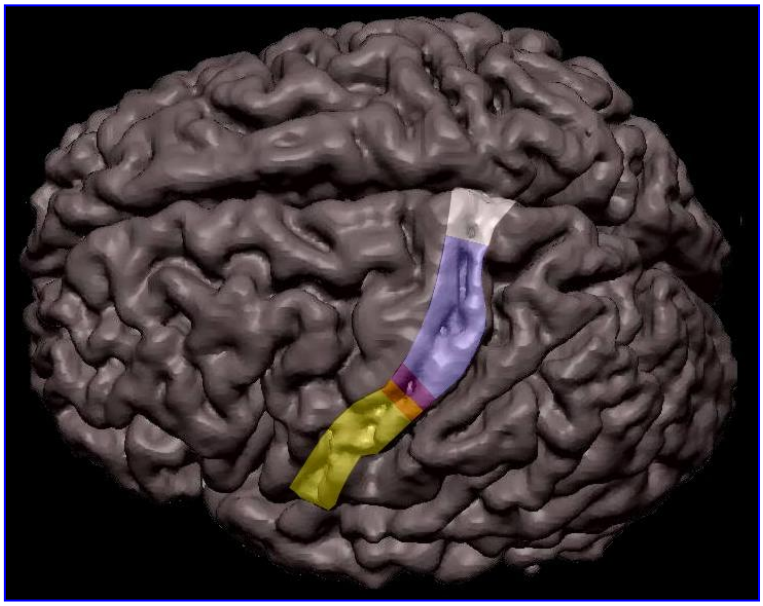
[67] BOUDREAU et al. Pain 2007, 132, p. 169-178.
[68] ROSSO et al. Pain 2003 ;101 :117-127
[69] WOODS T.M. et al. J. Neurosci 2000 ;20 :3884-99

cortex préfrontal et cortex pariétal) lors d'une induction hypnotique évoquant un stimulus algogène, sans qu'il n'y ait la moindre sollicitation nociceptive[70].

L'étude des douleurs du membre fantôme chez l'amputé montrent également l'importance de la plasticité du cortex sensoriel. Ces douleurs pourraient provenir d'une mauvaise adaptation de la plasticité cérébrale[71] ; leur intensité est corrélée à l'ampleur des réorganisations dans M1.



Zones M1 et S1 avant amputation

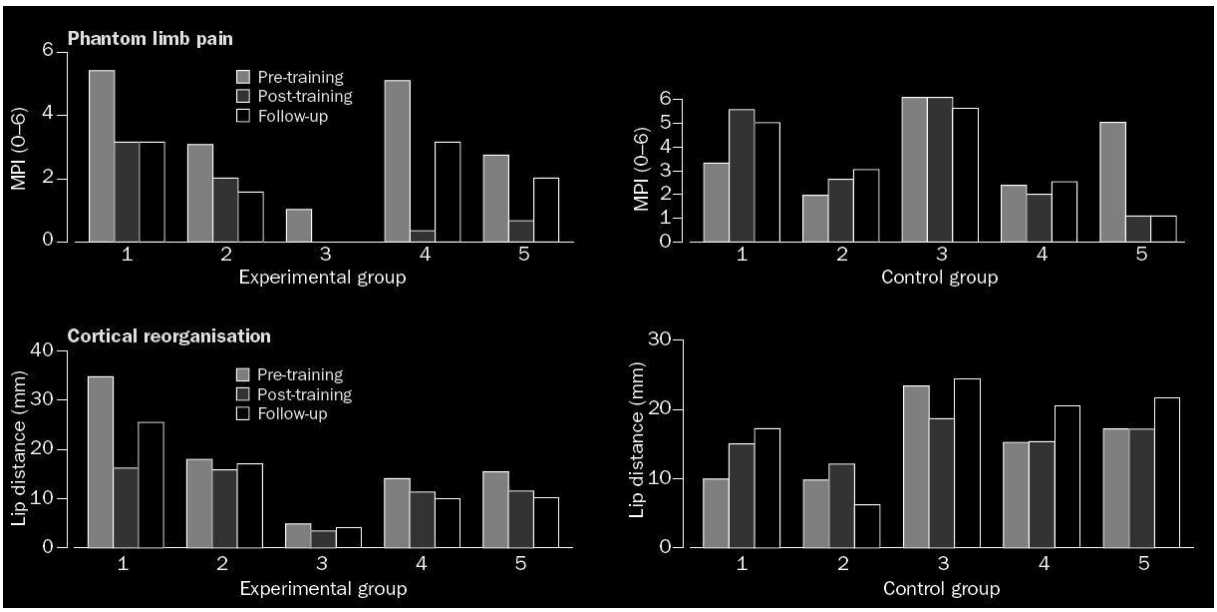


Après amputation

[70] STUART W.G. Neuroimage 2004, 23, p.392-401.
[71] LOTZE et al. Nature Neuroscience 1999.

Les réorganisations induites par l'amputation sont réversibles ; c'est ainsi que chez le patient bénéficiant d'une allogreffe de main, on observe en six mois un retour à une situation normale[72].

Nous sommes fondés à rechercher une normalisation de la représentation somesthésique perturbée par la douleur en raison de cette réversibilité. Une stimulation par ondes de choc pourrait produire des effets semblables à ceux obtenus dans le domaine des douleurs fantômes. En effet, les travaux de Flor et al. ont montré que l'entrainement tactile permet de faire régresser les douleurs fantômes :



FLOR et al[73].

Dans le même ordre d'idées, des douleurs provoquées électriquement diminuent également les douleurs de membre fantôme[74].

La réversibilité des altérations de l'organisation cérébrale due à la douleur, ne semble pas limitée au cortex. C'est ainsi que les études de Wannier Morino P. chez l'animal tendent à montrer la réversibilité non seulement de la somatotopie corticale après lésion de la main

[72] GIRAUX et al. *Réorganisation cérébrale des régions motrices après une greffe des deux mains*. Communiqué de presse CNRS 24 juin 2001. *Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands*. Nature Neuroscience (impact factor: 15.53). 08/2001; 4(7):691-2. DOI:10.1038/89472
Source: PubMed. GIRAUX P., RAFFIN E. *Thérapie en miroir et membre fantôme chez l'amputé*. Imagerie mentale, thérapie en miroir, applications en rééducation. Sauramps Médical 2012 p. 107.
RAFFIN E. *Les mouvements de membre fantôme: relations entre perceptions motrices et neuro-anatomie fonctionnelle étudiée en IRM fonctionnelle*. Thèse Neurosciences, Université Saint Etienne 2011.
[73] FLOR H. *Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment*. The Lancet Neurology, Volume 1, Issue 3, Pages 182 - 189, July 2002.
FLOR H. *The modification of cortical reorganization and chronic pain by sensory feedback*. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 27 (3) 215-27. 2002
HUNTER J.P., KATZ J., DAVIS K.D. *The effect of tactile and visual sensory inputs on phantom limb awareness*. Brain 126 (pt 3) 579-89. 2003.
[74] LOTZE op. cit.

mais également d'autres structures subcorticales telles que le thalamus, le tronc cérébral ou la moelle épinière[75].

Nous retiendrons de ces études que la douleur semble apte à modifier l'organisation cérébrale mais que ce phénomène est réversible. Le retour à la situation initiale peut être provoqué par des stimuli extéroceptifs.

Notre application énergique d'ondes de choc à distance d'un foyer douloureux est-elle susceptible de produire le même effet ? En établissant un parallèle avec les traitements proposés pour les douleurs de membre fantôme, on peut imaginer qu'une répétition de stimulations tactiles effectuées à distance de la zone ressentie comme douloureuse puisse apporter un résultat similaire. Ce serait un thème intéressant à approfondir et probablement prometteur.

L'une des pistes que nous n'avons pas étudiée dans la présente étude est celle de la corrélation qui pourrait exister entre la perturbation de la reconnaissance de latéralité et la présence d'une douleur chronique[76]. Cela pourrait constituer un critère d'inclusion pour l'administration d'ondes de choc visant à enrichir l'extéroception.

Pour finir sur une note de modestie et de distanciation, au-delà des explications seulement tirées de l'organisation des voies neurologiques, envisageons en conclusion l'hypothèse selon laquelle nos résultats positifs pourraient être liés à un contexte psychologique favorable, notamment à la lumière de l'effet Hawthorne (D).

D – L'effet Hawthorne :

L'effet Hawthrone[77] a été décrit par Elton MAYO lors d'études menées entre 1927 et 1932 et portant sur la productivité au travail[78]. Ce professeur à la Harward Business School cherchait à mesurer l'impact de la modification des conditions de travail sur la productivité. Il nota qu'en particulier la modification de l'éclairage avait un impact positif. Cependant, le groupe

[75] WANNIER MORINO P. *Le cerveau en réorganisation permanente, modèles animaux de plasticité cérébrale et de réorganisation fonctionnelle*. Association Genevoise de Physiothérapie, 6ème journée scientifique, 21 avril 2007.
[76] FORDERREUTHER S., SAILER U., STRAUBE A. *Impaired self-perception of the hand in complex regional pain syndrome*, Pain 2004, 110(3) 756-61. MOSELEY GL. *Why do people with complex regional pain syndrome take longer to recognize their affected hand ?* Neurology 2004, 62(12) 2182-6. SCHWOEBEL J. *Pain and the body shema: evidence for peripheral effects on mental representation of movement*. Brain 2011. 124(10) 2098-104.
[77] GILLESPIE, RICHARD, *Manufacturing knowledge: a history of the Hawthorne experiments*, Cambridge, Cambridge University Press. 1991
LANDSBERGER H. A. *Hawthorne Revisited*, Ithaca (NY), Cornell University, 1958.
[78] KATZELL R. A., AUSTIN J. T. *From then to now: The development of industrial-organizational psychology in the United States* , Journal of Applied Psychology, 1992 77, pp. 803-835

témoin n'ayant pas bénéficié des modifications des conditions de travail, a vu sa propre productivité s'accroitre.

L'auteur a interprété ce résultat de deux façons. D'une part, il affirme que le simple fait de participer à une expérience et de recevoir de l'attention de la part de l'expérimentateur suffit à modifier l'estime que chacun a de soi. D'autre part, l'émulation interne à un groupe d'employé au sein duquel une certaine part d'initiative a été accordée permet d'améliorer la productivité.

Cet effet Hawthorne peut avoir eu une incidence dans notre expérimentation concernant les ondes de chocs antalgiques. Le caractère original de cette approche antalgique a nécessité un effort d'explication et une attention particulière portée aux patients faisant l'objet de l'expérience. Il n'est en effet pas évident de justifier l'application d'une technique aussi intense, à la limite de la douleur sans explication détaillée de l'intérêt de la recherche clinique en kinésithérapie de la main. De plus, l'application à distance des ondes de choc sur le coude pour chercher à diminuer une douleur localisée à la main ajoute un écueil supplémentaire et nécessite un surcroît d'explications et d'arguments convaincants de la part de l'expérimentateur. Enfin, l'émulation entre patients a pu se développer puisque le bruit généré par l'appareil à ondes de choc, tout comme la relative douleur provoquée par le traitement en ont fait un excellent sujet de conversation. Le sentiment de participer à une expérimentation éventuellement favorable au groupe des patients ayant une douleur de la main a potentiellement pu créer la solidarité et l'émulation relevée par Elton Mayo.

L'attention particulière portée aux patients, le caractère novateur et expérimental de notre étude portent en germe tous les éléments de nature à provoquer l'effet Hawthorne.

Les bons résultats relevés lors de notre expérimentation qui a beaucoup plu à nos patients pourraient ainsi être issus d'une variante de l'effet placebo – du latin *je plairai* - où l'imagination est l'élément thérapeutique réellement efficace[79]. Sans aller prétendre avec Philippe Pignarre[80] que « le placebo n'existe pas », on peut légitimement se demander si l'hypothèse d'une seule action placebo de notre protocole de traitement de la douleur par ondes de choc pose un quelconque problème ? En effet, appliqué avec la même rigueur par tout expérimentateur, ce protocole peut se révéler reproductible et apporter un réel soulagement à nos patients sans qu'aucun caractère délétère ne soit noté. Comme le remarque le philosophe:

« Ce que peut le corps, personne jusqu'à présent ne l'a déterminé »

Spinoza[81].

[79] HAYGARTH J. *Of the Imagination, as a Cause and as a Cure of Disorders of the Body ; Exemplified by Fictitious Tractors, and Epidemical Convulsions*, Crutwell, 1800
[80] PIGNARRE P. www.recalcitrance.com
[81] SPINOZA B. *Ethique*. Flammarion 1965 p.378.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

ALTKINS D., CRAWFORD F., EDWARDS J., LAMBERT M. *A systematic review of treatments for the painful heel*. Rheumatology (Oxford). 1999; 38:968-973.

BARTH J., JAEGER J. H., LUTZ C. *Les ondes de choc*. Kinésithérapie Scientifique n° 445 juin 2004 p. 19.

BEAUVOIS J.L., JOULE R. V. *Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens*. Presses Universitaires de Grenoble 2002 p. 29.

BOUDREAU et al. Pain 2007, 132, p. 169-178.

BRILL M.M., WHIFFEN J.R. *Application of 24-hours burst TENS in back school*. Physical Therapy, 65, 1355-1357 (1985)

CALVINO B. GRILO R.M. *Le contrôle central de la douleur*. J. Rhum. 2004 11.012.

CHARPAK G., BROCH H. *Devenez sorciers, devenez savants*. Ed. Odile Jacob 2002.

CHUNG B., WILEY J.P., ROSE M.S.: *Long-term effectiveness of extracorporeal shockwave therapy in the treatment of previousely untreated lateral epicondylitis*. Clin J Sport Med, sept 2005, coté 8 sur PEDro double aveugle 29/31.

CLOT Y., BALLOUARD C. WERTHE C. (1998). *La validation des acquis professionnels : nature des connaissances et développement*. Rapport pour le Ministère de l'Education nationale, CNAM, Paris.

CODINE P., LAFFONT I., FROGER J. : *Imagerie mentale, thérapie en miroir, applications en rééducation*. Sauramps Médical 2012.

CREPON F. : *Ondes de choc radiales et traitement des tendinopathies*. Kinésithérapie Scientifique n° 413 juillet 2001, p. 59.

DEGEZ F., PERNOT P.: *Protocole de rééducation de l'épicondylalgie tendineuse.* Kinésithérapie La Revue. 2011 (113) p. 21-30. EMC Kinésithérapie Médecine physique Réadaptation. 2010. 26 213 B 15.

DEYO R.A., WALSH N.E., MARTIN D.C., SCHOENFELD L.S., RAMAMURTHY S. - *A controlled trial of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and exercice for chronic low back pain*. The New England Journal of Medicine, 322, 1627-1634 (1990)

DICKE E., SCHLICK H., WOLFF A. *Thérapie manuelle des zones réflexes du tissu conjonctif* : bindegewebsmassage. Editions Maloine, 1972.

DIESCH R. et coll. *Conventional versus BallisticExtracorporeal Shock Waves for the treatment of Calcaneal Spur*. 1999.

DOLLE P. M. : *La main, parking de nos angoisses*. Ed. Pli 2002.

DUFOUR M. et all. *Massages et massothérapie : effets, techniques et applications*. Editions Maloine, Paris, 1999.

FLOR H.: *Phantom-limb pain: characteristics, causes, and treatment*. The Lancet Neurology, Volume 1, Issue 3, Pages 182 - 189, July 2002.

FLOR H. *The modification of cortical reorganization and chronic pain by sensory feedback*. Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 27 (3) 215-27. 2002

FORDERREUTHER S., SAILER U., STRAUBE A. *Impaired self-perception of the hand in complex regional pain syndrome*, Pain 2004, 110(3) 756-61.

GAY A, PARATTE S, SALAZARD B, GUINARD D, PHAM T, LEGRE R, ROLLI JP. *Proprioceptive feedback enhancement induced by vibratory stimulation in complex regional pain syndrome type I: an open comparative pilot study in 11 patients*. Joint Bone Spine. 2007 Oct;74(5):461-6.

GERDESMEYER L., FREY C., VESTER J., et al. *Radial Extracorporeal Shock Wave Therapy Is Safe and Effective in the Treatment of Chronic Recalcitrant Plantar Fasciitis, Results of a Confirmatory Randomized Placebo-Controlled Multicenter Study*. Am J Sports Med. 2008 2.

GIRAUX P., RAFFIN E. *Thérapie en miroir et membre fantôme chez l'amputé*. Imagerie mentale, thérapie en miroir, applications en rééducation. Sauramps Médical 2012 p. 107.

GIRAUX et al. *Réorganisation cérébrale des régions motrices après une greffe des deux mains*. Communiqué de presse CNRS 24 juin 2001. *Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands*. Nature Neuroscience (impact factor: 15.53). 08/2001; 4(7):691-2. DOI:10.1038/89472 Source: PubMed

GIRAUX et al. *Altered awareness of voluntary action following damage to the parietal cortex*, Nature Neuroscience janvier 2004.

GLEITZ M. *Trigger point shockwave therapy*.German congress for orthopaedics and trauma surgery. Berlin 2006.

HUNTER J.P., KATZ J., DAVIS K.D. *The effect of tactile and visual sensory inputs on phantom limb awareness*. Brain 126 (pt 3) 579-89. 2003.

IHAKA R., GENTLEMAN R. (1996). *R: A Language for Data Analysis and Graphics*. Journal of Computational and Graphical Statistics 5 (3): 299–314.

INUI K. TSUJI T. KAKIGI R. *Temporal analysis of cortical mechanisms for pain relief by tactile stimuli in humans*. Cereb Cortex 2006. 16-355-65.

KAPOOR S. *Pain management in patients with plantar fasciitis, the emerging role of radial extracorporeal shockwave therapy*. J. Foot Ankle Surg. 2012 juil-aug 51(4) 541.

KNOBLOCH K., KUEHN M., VOGT PM., *Axé thérapie extracorporelle par ondes de choc dans la maladie de Dupuytren - une hypothèse*. Hypothese Med. 201; 76 (5) :635-7.

LAMPE J., DUNN B. *Symmetrical biphasic TENS waveform for treatment of back pain*. The Clinical Journal of Pain, 3, 145-151 (1987)

LAPLANCHE A., COM NOUGUE C., FLAMANT R.. *Méthodes statistiques appliquées à la recherche clinique*., Ed. Flammarion 1986

LARDRY J.M. *Hypothèses sur les effets antalgiques du massage*. Kiné Actualité n°866, septembre 2002, Ed. SPEK.

LE BARS D. WILLER J.C. *Plasticité de la douleur, rôle des contrôles inhibiteurs diffus*. 2008 Elsevier Masson.

LOHRER H. SCHOLL J. ARENZ S. *Achillodynia and patellar tendinopathy; results of radial shockwave therapy in patients with unsuccessfully treated tendinoses*. Sportverl Sportschad 2002; 16:108-114.

LOHRER H, NAUCK T, DORN-LANGE NV, SCHOLL J, VESTER JC. *Comparison of radial versus focused extracorporeal shock waves in plantar fasciitis using functional measures*. Foot Ankle Int. 2010 Jan;31(1):1-9.

LOTZE et al. Nature Neuroscience 1999.

MAGNIER J., WERTHE C. (1997). *Parler et écrire sur le travail. Enjeux personnels, enjeux sociaux : les candidats à la validation des acquis professionnels*. Education Permanente, 133, 12-24.

MAIER M , DURR RH , KOHLER S , STAUPENDAHL D , PFAHLER M. *Effet antalgique des Ondes de choc extracorporelles basse énergie dans la tendinopathie calcanéenne, épicondylite radiale et fasciite plantaire*. Z Orthop Ihre Grenzgeb 2000 Mar-Apr; 138 (2): 185.

MARCHAND S., LI J., CHAREST J. *Effects of caffeine on analgesia from transcutaneous electrical nerve stimulation*. New England Journal of Medicine, 333, 325-326 (1995).

MELZACK R., WALL P. *Pain mechanisms: A new theory*; Science, new series, vol. 150 n°3-99, 19 nov. 1965, p. 971-979.

MELZACK R, WALL P. *Le défi de la douleur*. Paris. Editions Vigot, 3ème édition, 1989.

MOSELEY GL. *Why do people with complex regional pain syndrome take longer to recognize their affected hand ?* Neurology 2004, 62(12) 2182-6.

QUINTAL I. NOEL L. GABLE C. DELAQUAIZE F. BRET-PASIAN S. ROSSIER P. ANNONI J.M. MAUPAS E. SPICHER C.J. *Méthode de rééducation sensitive de la douleur*. EMC Kinésithérapie – Médecine physique- Réadaptation. 26-469-A-10

RAFFIN E. *Les mouvements de membre fantôme: relations entre perceptions motrices et neuro-anatomie fonctionnelle étudiée en IRM fonctionnelle*. Thèse Neurosciences, Université Saint Etienne 2011.

RAMACHANDRAN V. *Le cerveau fait de l'esprit, enquête sur les neurones miroirs*. Dunod 2011.

RIDLEY M., *Evolution*, Blakwell, 2004, 3e éd., p.751.

RITTWEGER J. *Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be*. European Journal of Applied Physiology© Springer-Verlag 200910.1007/s00421-009-1303-3

ROMPE JD, DECKING J, SCHOELLNER C, THEIS C. *Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players*. The American Journal of Sports Medicine 2004 Apr-May;32(3):734-743

ROSSO et al. Pain 2003 ;101 :117-127

SCHWOEBEL J. *Pain and the body shema: evidence for peripheral effects on mental representation of movement*. Brain 2011. 124(10) 2098-104.

SEIL R , WILMES P., NUHRENBORGER C .*Thérapie extracorporelle par ondes de choc pour les tendinopathies*. Expert Rev Med Devices. Jul 2006, 3 (4) :463-70.

SCHMIDLIN E. et al. : *Progressive plastic changes in the hand representation of the primary motor cortex parallel incomplete recovery from a unilateral section of the corticospinal tract at cervical level in monkeys*. Brain Res 1994, 1017.

SCHUNCKE M.et al. *Atlas d'Anatomie Prométhée*. Ed. Maloine.

SCHWARTZ D. *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Ed. Flammarion 1963

SPICHER Claude : *Manuel de rééducation sensitive du corps humain*. Editions Médecine et hygiène 2003

SPICHER C., DELAQUAIZE F. et al. : *L'allodynie mécanique, une contre-indication temporaire pour certains traitements physiques*. Mains Libres 2010.

SPINOZA B. *Ethique*. Flammarion 1965 p.378.

STORHEIM K. GJERSING L. BOLSTAD K. RISBERG MA. Forskningssenter NAR Oslo. *Thérapie extracorporelle par ondes de choc dans la douleur musculosquelettique chronique*. Tidskr ne laegeforen, oct 2010 (2) 130 (23) 2360-4.

STUART W.G. Neuroimage 2004, 23, p.392-401.

TEIRICH-LEUBE H. *Le massage du tissu conjonctif dans les zones réflexes*, 1961 éd. par APELL A. et BLADENWECK H. qui sont les traducteurs de l'édition française.

TORNESE D, MATTEI E, LUCCHESI G, BANDI M, RICCI G, MELEGATI G. *Comparison of two extracorporeal shock wave therapy techniques for the treatment of painful subcalcaneal spur. A randomized controlled study*. Clin Rehabil. 2008 Sep;22(9):780-7. doi: 10.1177/0269215508092819

VALEMBOIS B., BLANCHARD M., MITERNIQUE B., NOEL L. : *Rééducation des troubles de la sensibilité de la main*. EMC Kinésithérapie Médecine Physique Réadaptation 26 064 A 10. Elsevier Masson 2012.

VIDAL X, MORRAL A, COSTA L, TUR M. *Radial extracorporeal shock wave therapy (rESWT) in the treatment of spasticity in cerebral palsy: a randomized, placebo-controlled clinical trial*. NeuroRehabilitation. 2011;29(4):413-9.

VYGOTSKI L. (2003). *Conscience, inconscient, émotions*. Paris: La Dispute.

WANG CJ. *An overview of shock wave therapy in musculoskeletal disorders*. Chang Gung Medical Journal. 2003; 26(4):220-32.

WANG C.J.*Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders*. J. Orthopaedic Surgery and Research. 2012 7-11.

WANNIER MORINO P.: *Le cerveau en réorganisation permanente, modèles animaux de plasticité cérébrale et de réorganisation fonctionnelle*. Association Genevoise de Physiothérapie, 6ème journée scientifique, 21 avril 2007.

WARDAVOIR H. *Thérapies manuelles réflexes*. EMC Kinésithérapie, Médecine physique, Réadaptation. 26-130-A-10. Elsevier Masson 2011.

WOODS T.M. et al. J. Neurosci 2000 ;20 :3884-99

WOOLF C. *Central sensitization : Implications for the diagnosis and treatment of pain*. Pain 2010.